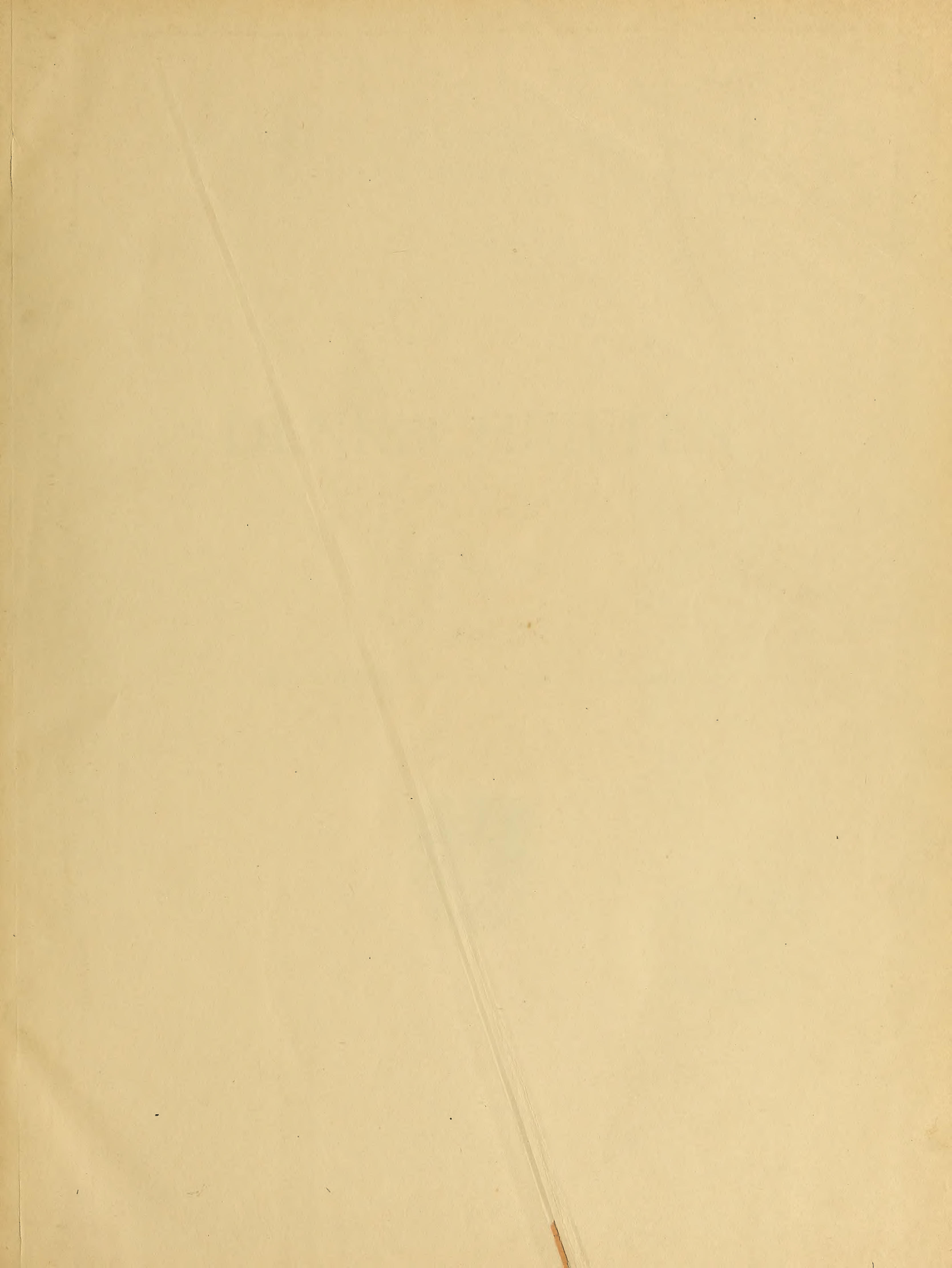
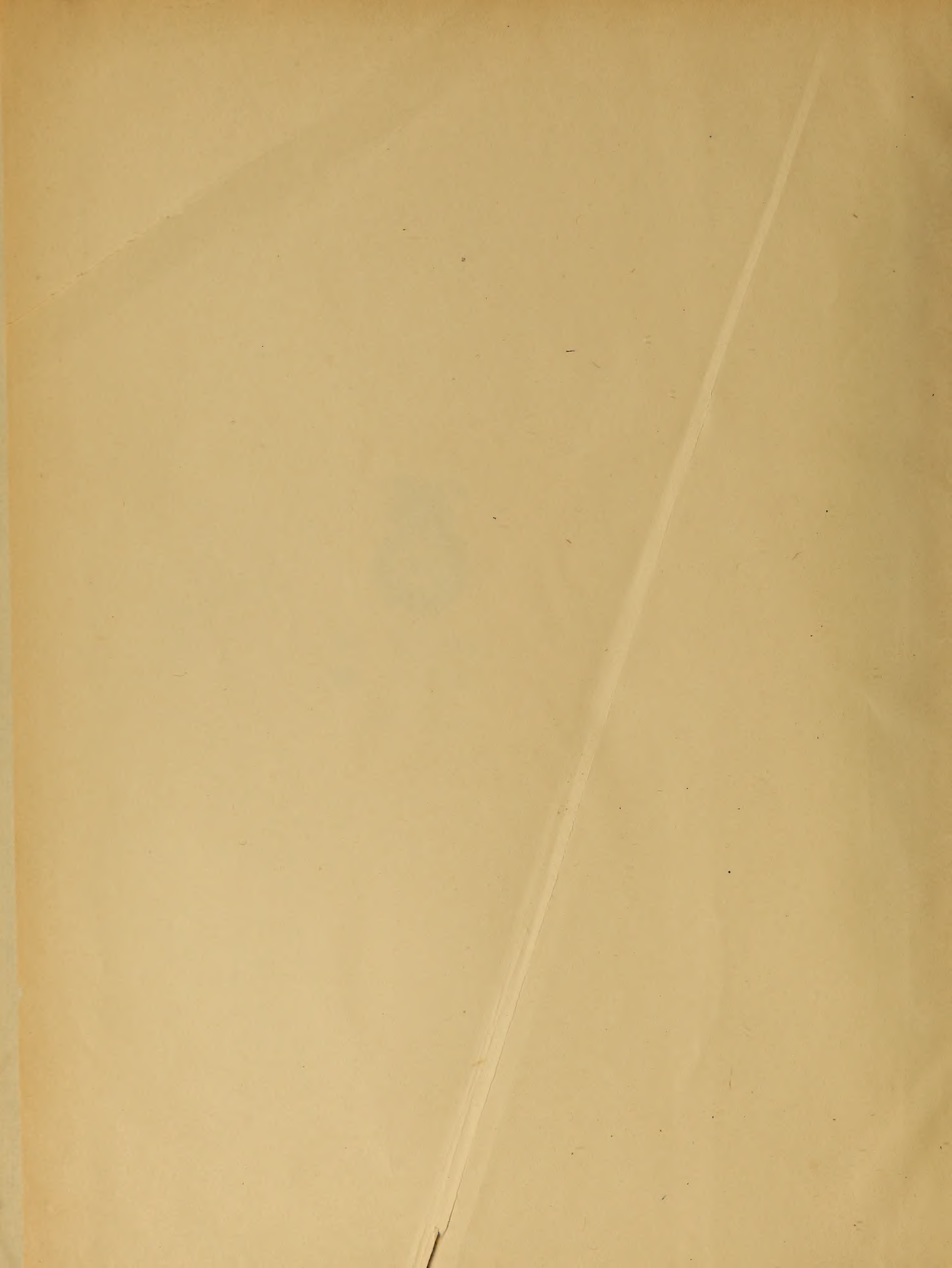



THE LIBRARY OF CONGRESS
1800





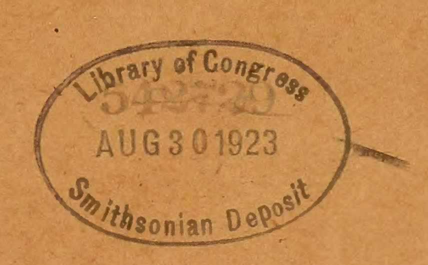
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

DENKSCHRIFTEN

96. BAND

(MIT 19 TAFELN, 312 TEXTFIGUREN UND 1 KARTE)





WIEN 1919
IN KOMMISSION BEI ALFRED HÖLDER
UNIVERSITÄTSBUCHHÄNDLER
BUCHHÄNDLER DER AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN



AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN

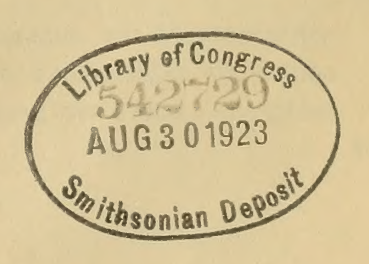
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

DENKSCHRIFTEN

96. BAND

(MIT 19 TAFELN, 312 TEXTFIGUREN UND 1 KARTE)





WIEN

ÖSTERREICHISCHE STAATSDRUCKEREI

1919



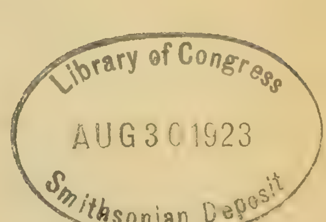
Inhalt.

GEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE EXOTISCHEN GERÖLLE UND DIE TEKTONIK NIEDERÖSTERREICHISCHER GOSAUABLAGERUNGEN

VON

O. AMPFERER

PETROGRAPHISCHE BEITRÄGE VON W. HAMMER UND B. SANDER



(MIT 81 TEXTFIGUREN)

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 18. APRIL 1918

A. Gebirge zwischen Piestingtal und Schneealpe-Lahnsattel.

Durch den Weltkrieg für eine Weile von meinen tirolischen Arbeitsplätzen abgedrängt, habe ich im Verlaufe der Jahre 1915 und 1916 mit zweimaliger Subvention der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien etwas über hundert ganztägige Exkursionen zu den eben genannten Untersuchungen verwenden können, wofür ich dieser hohen Körperschaft zu bereitwilligem Danke verpflichtet bleibe. Über die erste Hälfte dieser Aufnahmen ist im Jahre 1916 in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie ein vorläufiger Bericht erschienen.

Hier soll nun über die ganzen Ergebnisse an der Hand der beiliegenden Profile eine genauere Darstellung erfolgen.

Das Gebiet, über welches sich die bisherigen Aufnahmen erstreckten, umfaßt die großen Kalktafeln von Rax, Schneeberg, Gahns und Ostfortsetzung, Hohe Wand samt ihren weiteren Umgebungen.

Es ist somit nur ein kleiner Teil jenes Flächenraumes, für den L. Kober im Jahre 1912 in den Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 88. Bd., eine moderne geotektonische Gliederung zu geben versuchte.

Für das östliche Gebiet käme außerdem das von F. Kossmat neuaufgenommene Blatt Wiener Neustadt, C. XIV, Z. 14, in Betracht, das aber leider noch immer nicht erschienen ist.

Die Neuaufnahme des westlich anschließenden Blattes St. Ägyd-Schneeberg C. XIII, Z. 14, ist von mir aber erst in Angriff genommen worden. Wer sich also aus der Literatur über dieses schöne Stück der nördlichen Kalkalpen in geologischen Einzelheiten genauer unterrichten will, ist noch immer im wesentlichen auf die beiden älteren aber ausgezeichneten Werke von A. Bittner und G. Geyer

angewiesen, nämlich die Beschreibung der geologischen Verhältnisse von Hernstein (Wien, 1886) und die Beiträge zur Geologie der Mürztaler Kalkalpen und des Wiener Schneeberg (Jahrbuch d. G. R. A. Wien 1889).

Eine Vereinigung der darin vorgeführten Beobachtungen mit dem zuletzt von L. Kober gezeichneten geotektonischen Bilde dürfte aber jedem gewissenhaften Leser ernstliche Schwierigkeiten bereiten.

Meine Untersuchungen verfolgten in der Natur erst die Gosau, dann die Tektonik, bei der Darstellung will ich aus Gründen der Übersichtlichkeit den umgekehrten Weg einschlagen.

Ich lege zu diesem Zwecke zuerst die Kobersche, dann meine allgemeine Deutung vor und schildere mit einigen Querschnitten den allgemeinen Bau dieses Gebietes, soweit ich ihn zu erkunden vermochte. Darauf folgt dann die Einzelbeschreibung der Gosauvorkommen.

Die tektonische Gliederung der östlichen Nordalpen, wie sie Kober in Fig. 1 zur Darstellung bringt, weist die Schichtmassen unseres Gebietes in der Hauptsache drei übereinander liegenden Decken und zwar der Ötscher-, Hallstätter- und hochalpinen Decke zu. Ganz am Südrande aber erscheint noch als schmales Band ein Zug von Silur-Devon und eine Linse von sogenanntem Semmering-Mesozoikum, welche unmittelbar an die Karbon-Permserie stoßen.

Die Ötscherdecke taucht im Norden allenthalben unter die Hallstätterdecke hinab und erscheint innerhalb der letzteren noch einmal im Fenster des Hengst. Die hochalpine Decke lagert über der Hallstätterdecke. Am Südrande der Kalkalpen aber tauchen zwischen der Hallstätterdecke und dem Karbon-Permgebiet noch Streifen von Silur-Devon und Semmering-Mesozoikum hervor.

Meine tektonische Zerlegung dieses Gebirgslandes ist im allgemeinen eine einfachere, Fig. 2. Die Ötscherdecke als Teil der voralpinen Decke kann, soweit meine bisherigen Erfahrungen reichen, sowohl nach ihrem Schichtbesitz als auch nach ihrer Tektonik als eigene Schubmasse aufgefaßt werden. Auch mit dem Fenster des Hengst bin ich einverstanden. Östlich dieses Fensters ist aber noch das Fenster von Ödenhof hinzuzufügen, in welchem ebenfalls die voralpine Decke in unverkennbarer Weise zum Vorschein gelangt.

Die Hallstätterdecke dagegen vermag ich nicht als selbständige Decke anzuerkennen.

Kober schlägt zu dieser Decke den gesamten Vorrat von Werfener Schichten, die Trias der Hohen Wand, sowie einen Teil der Trias der Ostfortsetzung des Gahns und endlich die ganzen Gosauablagerungen.

Das ist eine unmögliche Zusammenschaltung.

Schon die Abtrennung der Werfener Schichten von der unmittelbar darüber liegenden unteren Trias von Rax-Schneeberg-Gahns ist gewiß nicht zu befürworten.

Noch bedenklicher ist die Losreißung der Hohen Wand und der Ostfortsetzung des Gahns von den anderen benachbarten Triastafeln.

Ausgeschlossen aber bleibt die Zuteilung der gesamten Gosau zu der Hallstätterdecke.

Den einzelnen Schubschollen am Kalkalpensüdrand dürfte auch nicht die Selbständigkeit von eigenen Decken zukommen.

Sie sind nicht die ausgewalzten Reste von eigenen Decken, welche sich ja bekanntlich weiter nordwärts nirgends mehr nachweisen lassen, sondern waren von Anfang an das, was sie heute sind, nämlich vereinzelte kleine Schubkörper.

Folgt man diesen Überlegungen, so kann man von Norden gegen Süden vorschreitend über einer voralpinen Schubmasse (Ötscherdecke) eine mächtige hochalpine Decke unterscheiden.

Auf dieser hochalpinen Decke haben sich an zwei Stellen noch Reste einer höheren Schubmasse erkennen lassen.

Die Überschiebung dieser Decken war bereits vorgosauisch erfolgt. Eine gewaltige Erosion hatte die oberen Decken tief zerfressen, so daß die Ablagerungen des Gosaumeeres vielfach unmittelbar sich auf die weithin entblößten Werfener Schichten legen konnten.

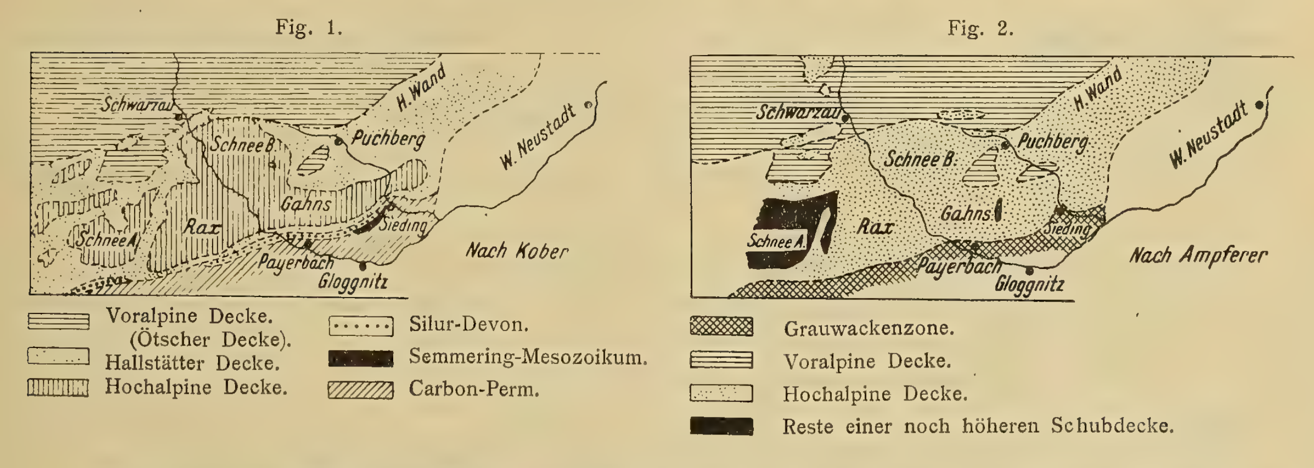
Sie übergriffen aber streckenweise sicherlich die höheren Kalktafeln, wie ja noch heute zu sehen ist.

Die nach der Gosauzeit neuerlich auftretende Gebirgsbildung fand nicht mehr, wie ehedem, einheitliche geschlossene Schichtlager, sondern stark zerschnitzelte Tafeln mit einer bunten Einlegearbeit von weicher, junger Gosau vor. Faltung und Schiebung vermochte daher nicht mehr so durchgreifend wie früher zu wirken.

Die starren Kalktafeln entzogen sich soweit als möglich der heftigen Pressung der tieferen Zonen. So wurden sie randlich über die enggefaltete Gosau hinausgeschoben.

Auf diese Weise lassen sich z. B. die Überschiebungen der Hohen Wand und des Gahns auf die anlagernde Gosau ganz ungezwungen erklären.

Die beistehende Fig. 2 gibt das Schema meiner tektonischen Gliederung in Umrissen wieder.



Noch klarer wird der Unterschied zwischen Kober und mir, wenn man unsere beiden Querprofile durch die Hohe Wand vergleicht. Fig. 3, Fig. 4.

Das Kobersche Profil stammt aus dem Jahre 1911.

Stellt man nun noch das alte Bittnersche Profil aus der Hernsteinerarbeit vom Jahre 1882, Fig. 5, dazu, so hat man einen guten Überblick über die Schwankungen der tektonischen Ansichten der letzten Dezennien.

Man ist zunächst erstaunt über die Güte des alten Profils, dessen Angaben auch heute noch volle Gültigkeit beanspruchen können. Das Bittnersche Profil enthält keine Angaben über den Untergrund der großen Gosaumulde. Kober bezeichnet die Triaskalke der Hohen Wand als Unterlage dieser Mulde, während ich die Gosau unmittelbar auf den Werfener Schichten transgredieren lasse.

Fig. 3.

H. Wand — Neue Welt — Größenberg

NW-SO Nach Kober

1 = Hallstätterkalk.
2 = Hauptdolomit.
3 = Dachsteinkalk.
4 = Kössener Sch.
5 = Gosau.
6 = Tertiär.

Die Gosaumulde der neuen Welt senkt sich von West gegen Ost schätzungsweise wohl um 1000 *m*. Wir haben daher nur an der Westseite und am Südrande Gelegenheit, die Verhältnisse dieser Auflagerung zu studieren und treffen da nur ein unmittelbares Aufsitzen auf den Werfener Schichten.

Am Südrand stoßen die Gosauschichten vom Talberg bis Netting unmittelbar an die Werfener Schichten Hier bietet der tiefe Erbstollen, welcher von Unterhöflein aus zuerst den Rücken der Sonnleiten und dann die ganze Gosaumulde bis zur Hohen Wand durchstößt, sehr interessante Aufschlüsse, Fig. 6.

In diesem Stollenprofil fällt von Süden aus zunächst die große Mächtigkeit gelber Rauhwacken auf. Auch der dahinter erschlossene Gipszug ist mächtig und zeigt steiles Nordfallen. Die quarzitischen wohlgeschichteten Sandsteine der Werfener Schichten liegen anfangs flach, biegen aber dann steil in die

Tiefe. Die Gosau beginnt unmittelbar auf den Werfener Sandsteinen mit einem rotzementierten Konglomerat. Zuerst tritt viel rotes, mergeliges Zement mit Buntsandsteingeröllen auf. Erst in den höheren Konglomeratlagen stellen sich mehr Kalkgerölle ein und zwar meist weiße, dann gelbe, rötliche und schwarze.

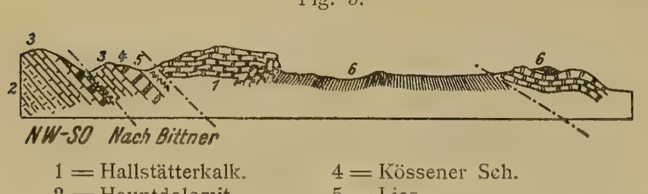
Über die allgemeine durch den Bergbau erkennbar gemachte Gestalt der Gosaumulde gibt Fig. 6, welche ich der Freundlichkeit der Direktion der Grünbacher Kohlenwerke verdanke, einen guten Einblick.

Geradezu typisch heben sich die seitlichen Überschiebungen als gegen oben gerichtete Ausweichungen aus der tieferen Pressungszone heraus.

An der unmittelbaren Auflagerung der Gosau auf den Werfener Schichten ist also wohl nicht mehr zu zweifeln.

Eine andere Frage ist noch, ob die von Bittner und Kober eingezeichnete knieförmige Abbiegung der Kalke der Hohen Wand zu Recht besteht.

Fig. 5.



1 = Hallstätterkalk.
2 = Hauptdolomit.
3 = Dachsteinkalk.
4 = Kössener Sch.
5 = Lias.
6 = Gosau.

Ich habe mich trotz mehrfacher Begehungen von dem Vorhandensein eines solchen Knies nicht überzeugen können.

Auch die Schichtung ist zumindest recht undeutlich. Kober bezeichnet in seinem Profil die ganze Trias als Hallstättertrias.

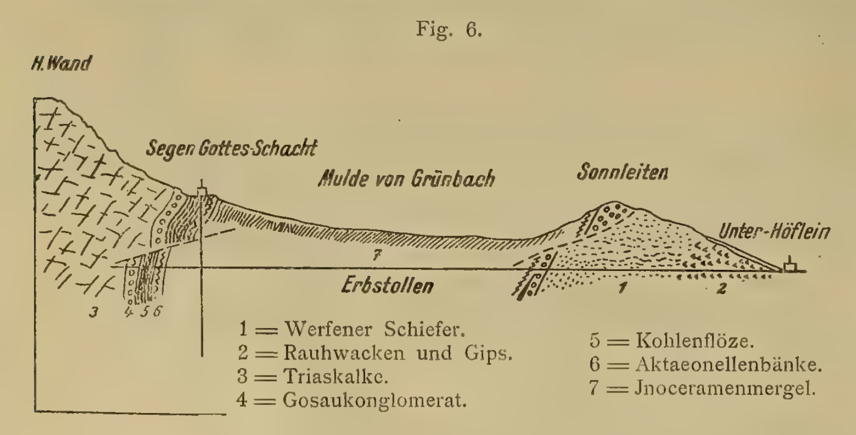
Wenn man diesem Vorgang folgt, so ist man gezwungen, in dem südlich der großen Gosaumulde gelegenen Triasstreifen einen östlichen zur Hallstätterdecke, von einem westlichen zur hochalpinen Decke gehörigen Teil zu scheiden.

Kober hat diesen Schritt unternommen, ohne jedoch im genaueren die Grenzen dieser beiden angeblich so verschiedenen Triasmassen bezeichnen zu können.

Gibt man sich die Mühe, in der Natur eine solche Abtrennung zu versuchen, so hat man einige in dieser Richtung ganz ergebnislose Exkursionen gemacht.

Mir ist es jedenfalls nicht gelungen, in diesen Triasmassen zwischen Triesting und Sierning irgend eine deutliche Grenze zu finden, welche man im Koberschen Sinne verwenden könnte.

Fig. 6.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Rauhwacken und Gips.
3 = Triaskalke.
4 = Gosaukonglomerat.
5 = Kohlenflöze.
6 = Aktaeonellenbänke.
7 = Jnoceramenmergel.

Ich stehe aber auch nicht an, die Trias der Hohen Wand und des eben besprochenen Zuges mit jener von Gahns-Schneeberg-Rax in unmittelbare Beziehung zu setzen, was übrigens auch schon von Bittner und später von Kossmat angedeutet worden ist. Damit lassen sich dann alle diese Tafeln zu einer großen Platte, jener der hochalpinen Decke, vereinigen. Zu dieser Triasplatte gehören dann die Werfener Schichten als ihre normale Unterlage, womit nicht gesagt sein soll, daß diese Kalktafeln etwa ohne Störungen oder Verschiebungen über den Werfener Schichten lagern. Solche sind reichlich vorhanden, doch ist man deshalb nicht gezwungen, eine große Fernbewegungsfläche hier durchzuziehen. Wenn man die gerechtfertigte Annahme macht, daß die Werfener Schichten mit ihren Schiefern, Tonen, Gips- und Salzlagern, Rauhwacken für die großen Schubbewegungen der Nordalpen die Hauptverschiebungszone bildeten, so wird man das Auftreten verschiedenartiger Schubsplitter und Schubschollen in ihrem Leibe nicht verwunderlich, sondern recht wahrscheinlich finden.

Werfen wir jetzt noch einen Blick auf die beiden tektonischen Querprofile durch die Hohe Wand, so können wir sagen, das Kobersche Profil hat eine Form, welche auch bei einmaliger nachgosauischer

Überschiebung entstehen könnte, während mein Profil sehr deutlich zwei Überschiebungen zum Ausdruck bringt, die zumindest durch eine lange Zeit der Erosion und Sedimentation getrennt sind.

Ich füge nun noch zwei Querprofile, Fig. 7 und 8, derselben Autoren durch das Fenster des Hengst und das Gahnsplateau hinzu, um so das volle Ausmaß unserer verschiedenen Deutungen dem Leser vor Augen zu führen. Das Kobersche Profil ist der oben zitierten Arbeit in den Denkschriften 1912 entnommen.

Es bedarf keiner weiteren Erläuterungen. Mein Profil ist für den nördlichen Teil im wesentlichen in Übereinstimmung.

Das Fenster des Hengst aber darf man nicht gleichseitig zeichnen, da es eine sehr charakteristische und wichtige Ungleichseitigkeit enthält, die auch im östlich benachbarten Ödenhofer Fenster wieder auftritt. Es handelt sich nämlich bei diesem Fenster nicht um eine einfache Aufwölbung des Dachsteinkalkes, sondern um eine Falte, da sich an den großen nördlichen Sattel im Süden noch eine kleinere Mulde anschließt.

Der Südflügel dieser Mulde ist nun auffallend steil heraufgebogen und von einer jähen Wand abgeschnitten, an deren Fuß unmittelbar die Werfener Schichten stoßen. Auf den Dachsteinkalken liegen sowohl im Norden als auch im Süden noch Kössener Schichten und Liaskalke.

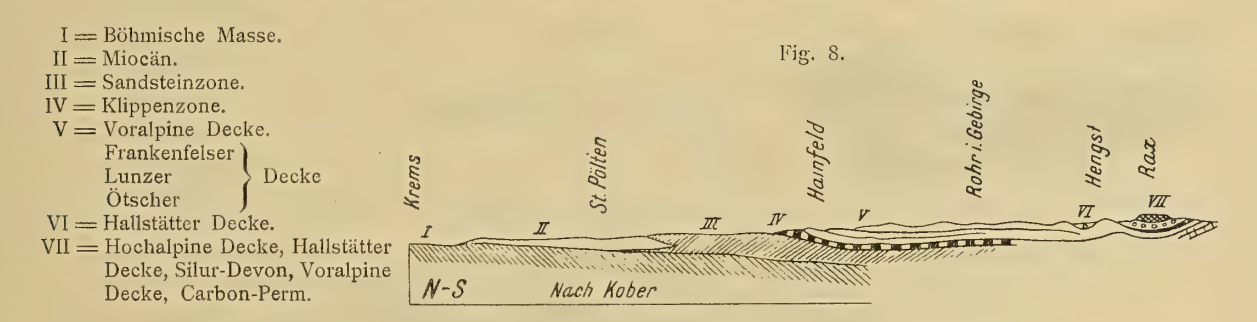


Fig. 8.

Die obersten Bänke des Dachsteinsattels aber sind an der Nordwestseite in eine Reihe von scharf geknickten Falten niedergebügelt, die sich unzweideutig als Schleppwirkung einer schweren, von Südosten her darüber geschobenen Last zu erkennen geben.

Ihrer Anlage nach muß aber zur Zeit dieses Schubes die Aufwölbung des Dachsteinkalkes bereits bestanden haben, da sich diese Schlepprunzeln nur an der Nordwestseite des Gewölbes finden.

Wir stehen hier an der von E. Sueß schon vor langer Zeit als Rohrbacherlinie beschriebenen Störung.

Ganz ähnlichen Verhältnissen begegnen wir auch am Südrande des benachbarten Ödenbacher Fensters, nur sieht man dort noch die alte Trias unmittelbar auf der Dachsteinkalk-Jurafalte liegen.

Die tektonische Verwertung dieser Funde sagt uns nun, daß wir an der Rohrbacherlinie zugleich am Südende der voralpinen Decke stehen.

Dies geht aus der Form der Dachsteinkalkfalte unmittelbar hervor, die keine Verlängerung gegen Süden mehr zuläßt.

Ein solche Verlängerung ist aber auch in der Natur nicht nachzuweisen, da an der Südseite des Gahnsplateaus nicht einmal die bescheidenste Spur der bis zur Rohrbacherlinie sehr charakteristischen Dachsteinentwicklung zu treffen ist.

Schicken wir uns nun an, von der Rohrbacherlinie das Gahnsplateau zu überschreiten, so gelangen wir von den Werfener Schichten über Rauhwacken, dunklen Brecciendolomit zu den hellen Kalkmassen hinauf, welche die Hochfläche bilden.

In diese Kalke ist die nordsüdlich verlaufende auffällige Mulde der »Bodenwiese« eingesenkt, von der schon Geyer vor langer Zeit das Auftreten von Werfener Schichten gemeldet und der damaligen Mode folgend als Aufpressung gedeutet hat.

Fig. 10 *a*.

Fig. 7.

Fig. 9.

Fig. 4.

1 = Werfener Schiefer.
2 = Untere Triaskalke und Dolomite.
3 = Graue Knollenkalke mit Hornsteinen.
4 = Vertretung der Raibler Schichten.
5 = Schneebergkalk = Vertretung von Hauptdolomit + Dachsteinkalk.
6 = Dachsteinkalk.
7 = Kössener-Liasschichten.
8 = Gosauschichten.
× = Auftreten von Schubschollen.

Zu *A* gehört das Spezialprofil Fig. 10 *b*.
Zu *B* gehört das Spezialprofil Fig. 10 *c*.

Fig. 10 *b*.

a = Hauptdolomit
b = Dachsteinkalk
c = Kössener Schichten
d = Lias-Jura
} Voralpine Decke.

1 = Werfener Schiefer und Rauhwacken.
2 = Aschgrauer Brecciendolomit—dunkle weißadrige Kalke.
3 = Teilweise grobe Breccien aus meist dunklen Kalken und Dolomiten. In dieser Breccie liegen gefaltete Bruchstücke eingeschlossen.
4 = Dünnschichtige Kalke mit Kielen und Wülsten auf den Schichtflächen.
5 = dunkle dickere Kalklagen mit (4) wechselnd — dünnschichtige, dunkle und hellere Kalke, rötliche flaserige Kalke.
6 = Aschgrauer Bröckeldolomit.
7 = Dünne helle Kalklagen.
8 = Mächtige Lage von aschgrauem, weich verwitterndem Bröckeldolomit.
9 = Dunkle weißadrige Kalke mit rauhen Schichtflächen.
10 = Hellere dickschichtige Kalke mit knolligen Schichtflächen.
11 = Dunkle dünnschichtige Kalke mit grauen Hornsteinen.
12 = Dunkle und helle Kalke und Breccien reich an Fossilien.
13 = Aschgrauer Brecciendolomit.

Fig. 10 *c*.



1 = Gehängebreccien.
2 = Geschichtete
3 = Ungeschichtete
} helle Triaskalke.
4 = Graue Knollenkalke mit hellgrauen Hornsteinen. Zwischen den Knollen rote Mergellagen.
5 = Geschichtete
6 = Ungeschichtete
} helle rötliche Kalke.
7 = Schneebergkalke.
a = Dunkler aschgrauer Brecciendolomit.
b = Schollen von hellen Kalken.

Die zur Zeit meiner ersten Besuche durch künstliche Aufgrabungen gerade gut erschlossenen roten und grünen Quarzsandsteine der Werfener Schichten sowie Brocken von schneeweißen Kalken und dunklem Brecciendolomit haben mir eine andere Deutung wahrscheinlicher gemacht.

Die Mulde der Bodenwiese ist einfacher als eine tektonische Verbiegung denn als reine Erosionsform zu verstehen.

In dieser Verbiegung haben sich nun Reste einer sonst zerstörten höheren Schubmasse erhalten. Steigen wir nun von der Hochfläche in der Richtung unseres Profiles südwärts ab, so begegnen wir oben den ungeschichteten hellen Kalken, darunter dunkleren gutgeschichten Kalken, weiter dunklem Brecciendolomit, sowie streckenweise einem Saum von lichten Kalken, sowie Spuren von Rauhwacken und Werfener Schichten.

Diese untere Trias ist, wie man mehrorts erkennen kann, auf marine Gosauschichten aufgeschoben, die ihrerseits engstens mit einem neuen Triassystem verbunden sind, das im Streichen eine recht verschiedene Zusammensetzung aufweist.

Es ist etwa in der Gegend nördlich von Payerbach am reichhaltigsten, wogegen sein Schichtbesitz gegen Osten verarmt.

Geyer hat sich bereits ausführlich mit der Beschreibung hierhergehöriger Profile beschäftigt und Kober ist ihm gefolgt.

Für letzteren stellt dieser untere Triassaum an der Südseite des Gahns die Vertretung seiner Hallstätterdecke vor. Ich werde später meine Gründe ausführlicher vorlegen, die mich zwingen, diesen Vergleich abzulehnen.

Hier sei nur darauf hingewiesen, daß dieser Triassaum, wo immer tiefere Taleinschnitte Einsicht gewähren, so steil einfällt, wie es bei einem Durchziehen unter dem Gahnsplateau unverständlich wäre.

Wie ich schon im Vorbericht erwähnt habe, sehe ich in diesem Triasstreif nur einen randlichen Teil des Gahnsplateaus, der bei der nachgosauischen Gebirgsbildung durch Heraushebung der großen mittleren Triasmasse in eine tiefere überschobene Lage geriet, wobei sein Schichtbesitz besser erhalten blieb. In den Werfener Schichten im Liegenden unseres Triasstreifens treffen wir dann noch mehrfach Schollen von älteren Gesteinen, mit denen ich mich ebenfalls in dieser Untersuchung noch zu beschäftigen habe.

Überblicken wir die Leistung dieses Querprofiles, so besteht dieselbe in der Erkenntnis des Südrandes der voralpinen Decke an der Rohrbacherlinie, der Ausschaltung einer eigenen Hallstätterdecke, der Einführung einer höheren Schubmasse und der neuen Erklärung der Gahnstektonik.

Auch in diesem Profil ist die Zweiteilung in vor- und nachgosauische Bewegungen sehr deutlich. Der vorgosauischen Bewegung fällt die große Überschiebung der hochalpinen über die voralpine Decke in den Fenstern von Hengst und Ödenhof zu. Nirgends finden wir zwischen den Gesteinen der voralpinen und hochalpinen Zone hier eine Spur von Gosau eingeklemmt.

Auch die Hangenddecke des Gahnsplateaus dürfte von vorgosauischer Abstammung sein.

Dagegen ist die Heraushebung des Gahnsplateaus selbst ein Akt der nachgosauischen Bewegungen. Die ostwestlichen Bewegungen, denen ich die Verbiegung der Bodenwiesmulde in die Schuhe schiebe, sind wohl noch später anzusetzen. (Das Querprofil durch das Fenster von Ödenhof Fig. 9, das später noch genauer besprochen wird, zeigt denselben Grundplan.)

Der Aufbau des Wiener Schneeberges soll durch die nächsten Querprofile, Fig 10*a* bis 10*c*, erläutert werden. Profil 10*a* ist so gelegt, daß auch noch die Rohrbacherlinie und das Gahnsplateau in der Gegend von Prettschacher-Feuchtaberg getroffen werden.

Begleiten wir die Aufschlüsse dieses Querprofils wieder von N nach S, so haben wir an der Nordseite des Schneebergs in der Gegend der Sparbacherhütte die ausgezeichnete Gelegenheit, die hier prachtvoll entwickelte voralpine Decke mit ihren Juragesteinen unmittelbar unter die Werfener Schichten und Rauhwacken des Schneeberges eintauchen zu sehen.

Wieder ist von der Hallstätterdecke keine Spur zu sehen. Die voralpine Decke kommt entlang dieses Profiles nicht mehr zum Vorschein, wenn sie auch in der Tiefe bis zur Rohrbacherlinie reichen dürfte.

Die oft beschriebene Trias des Schneeberges bildet eine hocherhobene flachverbogene Falte, deren steilerer Südschenkel zur Schlucht des Krummbaches also zur Rohrbacherlinie abfällt.

Gegen diese Linie senkt sich von der Gegenseite aber auch die Trias des Gahnsplateaus und hier entdeckten wir nun eine Stelle, wo sich auf der tief niedergebogenen Gahnstrias eine ziemlich ausgedehnte Masse von mariner Gosau erhalten hat. Dieser Fund ist um so interessanter als es Gosau von derselben Ausbildung wie am Südrande des Gahnsplateaus ist, die hier unmittelbar den jähen Felswänden des »Prettschacher« als Krönung aufgesetzt erscheint.

Entlang der Rohrbacherlinie stoßen auch hier Werfener Schichten meistens aber dunkle Dolomitbreccien an die absinkenden Kalke des Schneeberges. Die Prettschacher Gosau aber kommt mit diesen Gesteinen nicht in Berührung, da sich ein Zug von lichtem Kalk dazwischen einschiebt.

Soweit ich die Sachlage zu beurteilen vermag, gehört dieser Kalkzug ebenfalls noch zur Gahnstrias und die flachnordfallende Gosau liegt hier in einer alten Erosionsfurche.

Das weitere Profil durch den westlichsten Teil des Gahnsplateaus bietet wenig Neues.

Am Südabfall tauchen unter der Trias, die hier in ihrer ganzen Masse aus sehr lichten ungeschichteten Kalken besteht, in großer Mächtigkeit die Werfener Schichten heraus.

Fig. 11.



1 = Quarzgrauwacken.
2 = Grünschiefer, Porphyr.
3 = Verrucano.
4 = Werfener Schiefer und Rauhwacken.
5 = Helle weiße ungeschichtete Kalke.
6 = Wohlgeschichtete graue Kalke.
7 = Hauptdolomit.
8 = Dachsteinkalk.
9 = Kössener Sch.-Lias.
× = Triasschollen umlagert von Gosaukonglomeraten.

In diesen ist an der Kante des Haabergs eine große Linse von gelben knolligen Rauhwacken eingeschlossen. Es ist dies derselbe Rauhwackenzug, der bei Hirschwang die Schwarza übersetzt und am Törlweg mit Schollen von grünem, rotem und violettem Porphyr verquickt ist.

Diese gelbe, knollige, zellige, brockige Rauhwacke enthält massenhafte Einschlüsse von grauem Dolomit, anderen Rauhwacken, dunklen und weißen Kalken, roten und grünen Werfener Sandsteinen.

Ihr mylonitischer Charakter ist schon von Kober richtig betont worden.

Es ist aber auch genau dieselbe Rauhwacke wie wir sie am Nordende unseres Profiles getroffen haben und die z. B. auch an der Ostseite des Schneeberges sehr viele größere und kleinere Scholleneinschlüsse zeigt.

Blicken wir noch einmal auf dieses Profil zurück, so gewahren wir die hocherhobene Scholle des Schneeberges in deutlicher Überlagerung der voralpinen Decke.

Gegen die Rohrbacherlinie aber erscheinen Schneeberg und Gahns niedergebeugt, gerade das Gegenteil jener Lagerung zeigend, welche man erwarten müßte, wenn hier eine Aufpressung von älteren Schichten vorliegen würde.

Der nächste Querschnitt durch das Raxplateau nach den Aufschlüssen des großartigen Schwarzadurchbruches wird uns eine weitere Einsicht in die Geschichte der Rohrbacherlinie gestatten.

Dieses Profil, Fig. 11, beginnt wieder im Bereiche der voralpinen Decke, die am Obersberg westlich von Schwarzau aus zwei Schubmassen besteht.

Diese voralpine Masse bildet eine große, ziemlich tiefe Mulde, welche die Straße von Schwarzau ins Preintal beim Eckbauerhof überschreitet.

In diese Mulde sind nun Werfener Schichten eingebettet, auf denen vereinzelte Triasschollen herumliegen. Zwischen den Triasschollen aber breiten sich zumeist rotgefärbte konglomeratische Gosauschichten aus. Südlich des Eckbauerhofes hebt sich wieder die voralpine Decke mit Lias-Kössener Schichten, Dachsteinkalk-Hauptdolomit heraus.

Dieser Hauptdolomit stößt entlang einer hier steilen Bewegungsfläche unmittelbar an die Triaskalke des Fegenberges, der schon zur Raxdecke gehört.

Die Steilheit der Störungsfläche zwischen der vor- und der hochalpinen Decke ist nur ganz lokal. Gleich ost- und westwärts taucht wieder die voralpine Decke ganz regelrecht unter die hochalpine ein. Die Gesteine der hochalpinen Decke neigen sich am Fegenberg gegen N.

Sie bilden im großen ein Gewölbe, dessen Kern etwa in der Gegend der Wirtschaft zur Singerin zu suchen ist. Hier treten sehr mächtige, schön und gleichmäßig geschichtete Kalke als Unterlage der ungeschichteten lichten höheren Kalkmassen auf, die im Schwarzadurchbruch auf der Raxseite die bei weitem vorherrschenden sind. Ja, im südlichen Abschnitt dieses Profiles treffen wir von unten bis oben lauter lichte vom Schneeweiß bis zum hellen Rot gefärbte Kalke.

Wie unser Profil angibt, wird die hochalpine Decke von mehreren tiefen Tälern zerschnitten, von denen das südlichste und großartigste, das große Höllental, am Eingang eine kleine Lage von mariner Gosau enthält, die auch schon den älteren Autoren bekannt war.

Wie bereits Geyer vermeldet, ist ihr Auftreten mit der Verlängerung der Rohrbacherlinie in Verbindung zu bringen, welche durch den Stadelwandgraben zur Schwarza und gegen unsere Gosau herstreicht. Die hier vorhandene Gosau streicht aber nicht in das große, sondern ins kleine Höllental hinein, wo sich ihre Spur unter Trümmerwerk verliert.

Das Auffällige ist die tiefe Lage der Gosau, die hier ebenso wie am Prettschacher und an der Südseite des Gahns marin und nicht konglomeratisch entwickelt ist. Hält man sich die Lagerung unmittelbar unter den gewaltigen Steilmauern des großen und kleinen Höllentales vor Augen, so kommt man zu der Vorstellung von uralten Talgefäßen, in denen bereits die Gosaumeere gelegen haben. Eine Erklärung durch Einbrüche oder Überschiebungen ist ja dabei ganz ausgeschlossen.

Diese Verhältnisse an der Mündung vom großen und kleinen Höllental werfen aber, wie mir scheint, auch Licht auf die Geschichte der Rohrbacherlinie.

Die erste Veranlassung zu dieser Störung dürfte wohl in dem Südrande der voralpinen Decke liegen. Hier wird sich dann an der durch diesen Rand vorgezeichneten Staffelung ein alter Talzug entwickelt haben, in den dann das Gosaumeer eindrang und seine Sedimente ablagerte.

Bei der nachgosauischen Gebirgsbildung aber wurde dieser Talzug enger zusammengepreßt, vielleicht auch ganz erdrückt. So haben sich die darin begrabenen Gosauschichten in so tiefer Lage zu erhalten vermocht.

Eine weitere Eigentümlichkeit des Schwarzadurchbruches sind die mächtigen lotrechten Rutschwände, welche besonders im Südteil der Schlucht ausgezeichnet erschlossen sind. Sie sind zumeist mit flach geneigten Rutschstreifen in nordsüdlicher Richtung verziert.

Am Eingang in die Schwarzaenge war bei meinem ersten Besuch im Jahre 1915 in dem am Fuße der Rax befindlichen Steinbruch im Hintergrund eine hohe Rutschwand mit nordsüdlicher Streifung in den schneeweißen Kalken bloßgelegt. An der inneren Ecke waren aber zugleich sehr steile, wellig verbogene Rutschflächen zu sehen, deren Striemung ostwestlich verlief.

Die zweite Flächenschar durchdrang die erste ohne wesentliche Verschiebung und gab sich als die jüngere zu erkennen.

Hat man die große Schlucht durchquert, so trifft man westlich von Hirschwang auf die steile Kalkscholle des Sängerkogels, welche durch einen schmalen Streif von Werfener Schichten vom nahen Raxplateau getrennt wird.

Wir haben wieder dieselbe Erscheinung wie an der Südseite des Gahns nur mit noch offenkundiger Steilheit der Lagerung.

An der Südseite schmiegt sich an den Sängerkogl zunächst die schon erwähnte Rauhwackenzone, deren Mächtigkeit tiefenwärts kräftig zunimmt.

Darunter folgt eine Zone von Werfener Schichten, dann der bekannte erzführende Verrucano, eine Grünschieferzone und endlich Grauwacken und Blaseneckgneiß.

Auch dieses Querprofil lehrt wieder die Zweiteilung der großen Bewegungen und zeigt außerdem im Höllentaleinschnitt den gewaltigen Betrag der vorgosauischen Erosion.

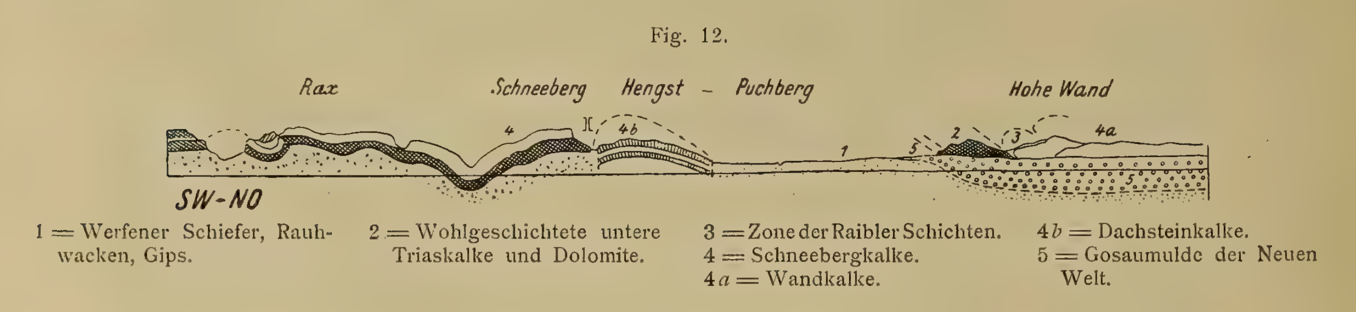
Es ist nun aber nach meinen Erfahrungen nicht möglich, den Bau unserer Bergwelt ohne die Beigabe eines ostwestlichen, also eines Längsprofiles vollständig zu charakterisieren. Ich führe zu diesem Zwecke noch ein Längsprofil vor, das von den Abstürzen des Gamsecks ins Altenberger Tal über Rax und Schneeberg ins innere Becken von Puchberg verläuft.

Die Fortsetzung bildet ein etwas südlicher gezogenes Profil derselben Richtung, das über das Fenster des Hengst, über Puchberg, Bruck—Öd- und Pfenningwiese endlich die Hohe Wand übersetzt. (Fig. 12.)

Wie schon der erste Blick auf dieses Profil zu erkennen gibt, spielen auch hier am Ostende der nördlichen Kalkalpen ostwestlich gerichtete Bewegungen keine geringe Rolle.

Wir haben da zunächst an der Westseite der Rax eine scharfe Niederbiegung zu der Falte des Hohen Gupf, in deren Mulde in deutlicher Weise die Reste einer höheren Schubmasse lagern, welche dann in dem Gebiet der Schneealpe eine weitere Erstreckung gewinnt.

Fig. 12.



1 = Werfener Schiefer, Rauhwacken, Gips. 2 = Wohlgeschichtete untere Triaskalke und Dolomite. 3 = Zone der Raibler Schichten. 4 = Schneebergkalke. 4a = Wandkalke. 4b = Dachsteinkalke. 5 = Gosaumulde der Neuen Welt.

Kober hat diese Falte völlig verkannt, wenn er hier an der Westseite der Rax wieder nur seine Hallstätterdecke unter der hochalpinen ausstreichen läßt.

Das Durchbruchstal der Schwarza aber zeigt sich im wesentlichen an die Stelle einer kräftigen, ungefähr nordsüdlich streichenden Einbiegung zwischen Rax und Schneeberg gebunden.

Außerordentlich deutlich tritt endlich die Bedeutung dieser Bewegungsrichtung am Aufbau der Hohen Wand zutage.

Wir sehen Klippen von lichten Kalken, darüber die hornsteinreichen wohlgeschichteten Lagen der Reiflinger Schichten, dann Mergel, Sandsteine, Kalke der Raibler Schichten, Hauptdolomit, helle Riffkalke und Reste von Liaskalken.

Das läßt sich recht gut als eine gegen Osten einfallende Schichtserie verstehen, deren obere Dolomit-Kalkgruppe entlang der Zone der Raibler Schichten zu einer Art von Faltenstirne aufgeschoben ist.

Die Lagerung der Raibler Schichten zeigt diese westwärts gerichtete Aufschiebung deutlich an.

Das Ausmaß der Faltung und Schiebung in dieser Richtung ist allerdings wesentlich geringer als in der dazu senkrechten Richtung, aber gewiß nicht ganz zu vernachlässigen.

Mit diesen Profilen ist der geologische Bau des hier betrachteten Berglandes in den allgemeinsten Umrissen dargestellt.

Es verbleibt uns nun weiter zu untersuchen, wie sich die reichlich vorhandenen Faziesverhältnisse in dieses tektonische Gerüst einfügen lassen und ob vielleicht diese uns zwingen, doch einen komplizierteren Bau im Sinne der Deckenlehre anzunehmen.

Die Grundfrage bleibt in unserem Gebiete, ob im Sinne von Kober drei oder wie ich meine nur zwei verschiedene Triasserien übereinander liegen.

Die Trennung von voralpiner und hochalpiner Decke kann als gelungen bezeichnet werden, da sich an keiner Stelle Zweifel wegen der Zugehörigkeit ergeben haben und die Unterschiede in der Schichtausbildung und vor allem dem Schichtumfang recht charakteristische sind. Wir haben uns also nur mit der Möglichkeit einer Trennung von Hallstätter- und hochalpiner Triasserie zu befassen.

Da ist zunächst zu bemerken, daß Hallstättertrias mit jenem berühmten Fossilreichtum und jener Feingliederung vieler Ammonitenzonen, wie sie etwa dem Salzkammergut eigentümlich ist, in unserem Gebirge bisher nicht gefunden wurde.

In dieser Hinsicht muß man seine Ansprüche wohl sehr einschränken, wenn man diesen Namen auf so fossilarme Kalkmassen anwenden will.

Indessen hat schon Bittner eingehend auf die hier möglichen Analogien und die stets sehr beschränkten Vorkommen von fossilreicheren Stellen hingewiesen.

Kober ist weiter gegangen und hat hier stark verallgemeinert.

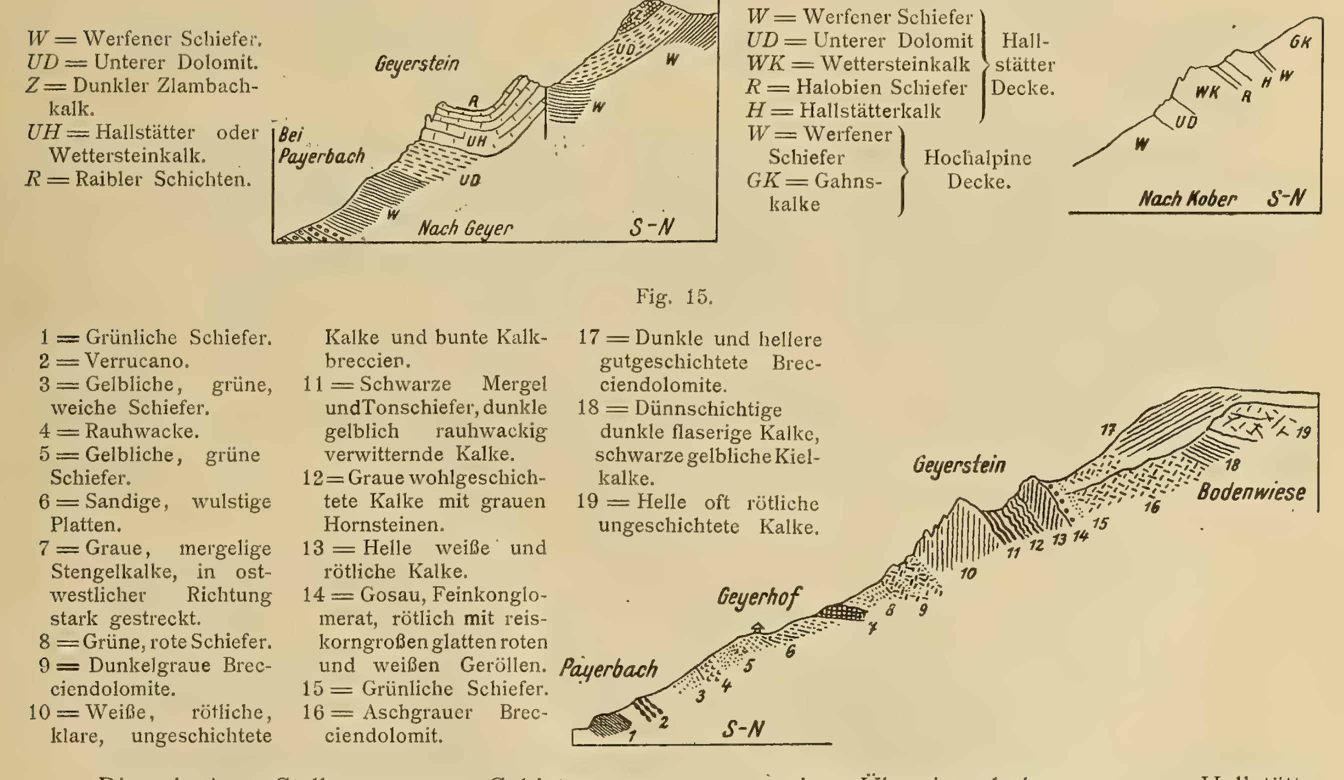


Fig. 13.

W = Werfener Schiefer.
UD = Unterer Dolomit.
Z = Dunkler Zlambachkalk.
UH = Hallstätter oder Wettersteinkalk.
R = Raibler Schichten.

Fig. 14.

W = Werfener Schiefer, UD = Unterer Dolomit, WK = Wettersteinkalk, R = Halobien Schiefer, H = Hallstätterkalk } Hallstätter Decke.
W = Werfener Schiefer, GK = Gahnskalke } Hochalpine Decke.

Fig. 15.

1 = Grünliche Schiefer.
2 = Verrucano.
3 = Gelbliche, grüne, weiche Schiefer.
4 = Rauhwacke.
5 = Gelbliche, grüne Schiefer.
6 = Sandige, wulstige Platten.
7 = Graue, mergelige Stengelkalke, in ostwestlicher Richtung stark gestreckt.
8 = Grüne, rote Schiefer.
9 = Dunkelgraue Brecciendolomite.
10 = Weiße, rötliche, klare, ungeschichtete Kalke und bunte Kalkbreccien.
11 = Schwarze Mergel und Tonschiefer, dunkle gelblich rauhwackig verwitternde Kalke.
12 = Graue wohlgeschichtete Kalke mit grauen Hornsteinen.
13 = Helle weiße und rötliche Kalke.
14 = Gosau, Feinkonglomerat, rötlich mit reiskorngroßen glatten roten und weißen Geröllen.
15 = Grünliche Schiefer.
16 = Aschgrauer Brecciendolomit.
17 = Dunkle und hellere gutgeschichtete Brecciendolomite.
18 = Dünnschichtige dunkle flaserige Kalke, schwarze gelbliche Kielkalke.
19 = Helle oft rötliche ungeschichtete Kalke.

Die einzigen Stellen unseres Gebietes, wo man von einer Übereinanderlagerung von Hallstätter und hochalpiner Trias eventuell reden könnte, befinden sich am Südabfall des Gahnsplateaus.

Leider ist gerade hier die angebliche Hallstätter Trias außerordentlich fossilarm.

Das bestentwickelte Profil ist da noch immer das bereits von Geyer eingehend beschriebene von Payerbach über den Geyerstein zum Gahnsplateau.

Ich lege hier die Profile von Geyer, Kober und mir zum Vergleiche vor. (Fig. 13, 14, 15.)

Das Profil von Geyer ist teilweise unrichtig gezeichnet. Das Kobersche deckt sich im wesentlichen mit meinen Befunden.

Ich habe nur noch einen schmalen Streifen von Gosau entdeckt und die von Kober als einheitlich eingetragenen Gahnskalke ebenso gegliedert wie die tiefere Serie.

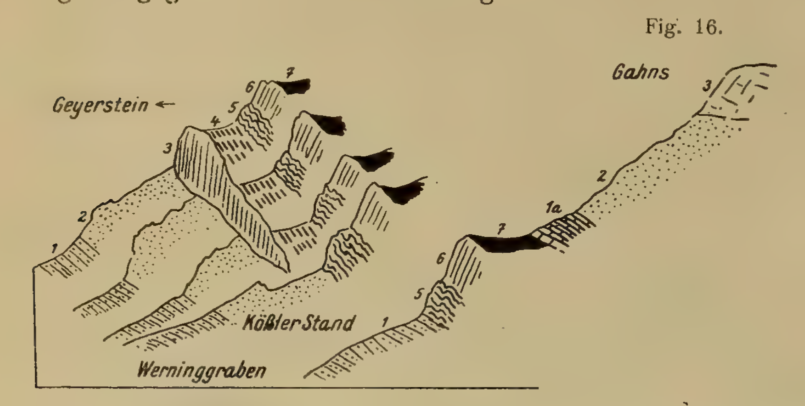
Vergleicht man nun die untere und die obere Triasreihe, so kann man meiner Ansicht nach beide einander gleichsetzen, wenn man bedenkt, daß ja durch die tief eingeschnittene Rumpfebene des Gahnsplateaus die höheren Teile der oberen Serie entfernt sind.

Eine ähnliche Erfahrung macht man aber auch bei den anderen Profilen, die ich an dem Südabfall dieses Teiles der Kalkalpen begangen habe.

Dazu kommen Beobachtungen, welche die große Bedeutung von Faziesschwankungen im Streichen einer und derselben Zone an diesem Südrande beweisen.

Die folgenden Profile und Ansichten sollen auf diese Verhältnisse aufmerksam machen. Klettern wir vom Geyerstein zum Beispiel die Gehänge gegen Osten zu ab, so erhalten wir etwa die in Fig. 16 gegebene Zusammenstellung.

Fig. 16.



1 = Werfener Schiefer.
1a = Dünngeschichtete Kalkschiefer.
2 = Hellgraue Dolomitbreccien, manchmal geschichtet.
3 = Weißer, seltener rötlicher oder grauer ungeschichteter Kalk.
4 = Schwarze Mergel, Kalke, Sandsteine.
5 = 1—3 *dm* dickgeschichtete intensiv gefältete Zone von grauen, rötlich verwitternden Kalken mit grauen Hornsteinen.
6 = Ungeschichtete weiße, rötliche Kalke.
7 = Gosausandsteine und feine Konglomerate mit weißen Kieseln.

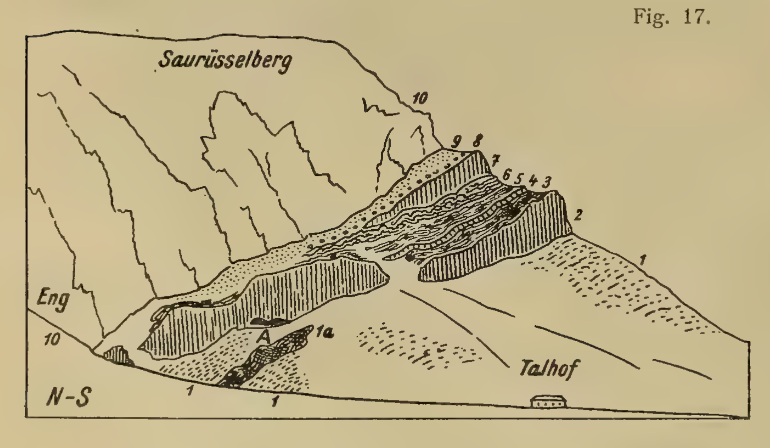
Der sogenannte Wettersteinkalk keilt aus, wenig weiter östlich verschwindet auch der Brecciendolomit und die Raibler Schichten. Die Hornsteinkalke aber legen sich nun unmittelbar auf die Werfener Schichten.

Wendet man sich vom Geyerstein dagegen nach Westen gegen die tiefe Schlucht der Eng, so erhält man die in Fig. 17 eingetragenen Aufschlüsse.

Man kann dabei in Zweifel sein, ob mehr tektonische oder stratigraphische Abzüge und Lücken vorliegen.

Betrachten wir nun auch die Verhältnisse der oberen Gahnsmasse, so begegnen wir nicht weniger tiefgreifenden Änderungen in der Zusammensetzung, wie dies Fig. 18 schematisch angibt.

Fig. 17.



1 = Werfener Schiefer, Sandsteine.
1a = Dünnschichtige dunkelgraue flaserige Kalkschiefer.
2 = Weißer, rötlicher ungeschichteter Kalk.
3 = Schwarze dünnblättrige Tonschiefer.
4 = Einige dickere Lagen dunklen Kalkes.
5 = Schwarze Tonschiefer.
6 = Gutgeschichtete graue Kalke mit Hornsteinen.
7 = Helle, rötliche ungeschichtete Kalke.
8 = Rot zementierte feine Breccie — Gosau?
9 = Spuren von Rauhwacke, dunkler Brecciendolomit.
10 = Ungeschichtete weiße, rötliche Kalke.
A = Höhle am Fuße der Kammersteinwand.

Steigt man durch die Schlucht der Enge zur Höhe, so hat man von unten bis oben nur lichte in ihren Farben wechselnde Kalke.

Steigt man vom Geyerkopf direkt zur Plateauhöhe, so kann man ganz über Brecciendolomit hinauf gelangen. Wenig weiter östlich setzt aber schon wieder oben der helle Kalk ein.

Noch weiter östlich aber treffen wir auch unter dem Brecciendolomit wieder lichte Kalke.

Angesichts dieser sichergestellten großen Variabilität der Triassedimente, die übrigens nach meinen Erfahrungen für den ganzen Südrand der nördlichen Kalkalpen charakteristisch zu sein scheint, dürfte es wohl recht gewagt sein, diese Schichten auf zwei grundverschiedene Ablagerungsbereiche verteilen zu wollen.

Ich glaube, daß man durch das Fallenlassen einer so künstlichen Einteilerei nur Vorteile haben kann. Wenn ich nun sowohl aus tektonischen als auch aus stratigraphischen Gründen die Einschaltung einer eigenen Hallstätterdecke ablehne, so verbleibt mir doch die Verpflichtung, innerhalb der sogenannten hochalpinen Decke die verschiedenen Fazies miteinander in Beziehung zu bringen.

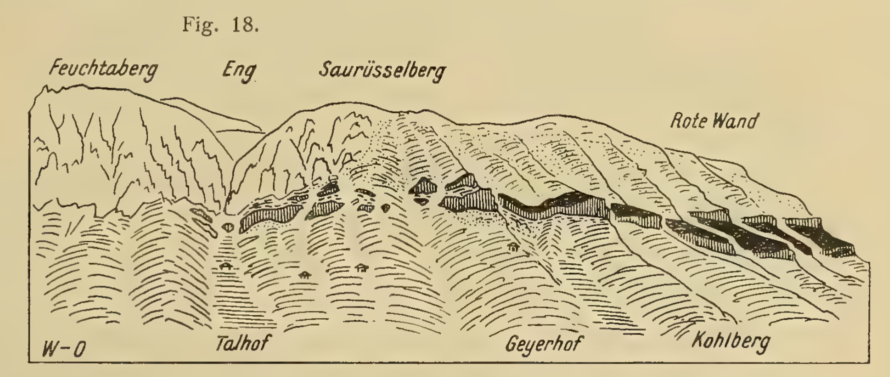
Ich glaube, daß dies auch gestützt auf die vorhandenen vorzüglichen Vorarbeiten unschwer gelingt.

Die Altersstellung der Werfener Schichten ist zunächst eine gesicherte.

Über diese baut sich eine sehr mächtige Kalk-Dolomitmasse auf, in die vielerorts eine an Tonschiefer, dunklen Kalken reichere Zone eingeschaltet ist, welche durch hinreichende Fossilfunde als den Raiblerschichten zugehörig bestimmt werden konnte. Im Gebiet des Schneeberges und der Rax ist diese Entwicklung nur auf die Westseite der Rax beschränkt. Hier treten dafür inmitten der großen Triasmassen schiefrige, kalkig mergelige Lagen von anderem Aussehen auf, die seinerzeit von Geyer als Zlambachschichten beschrieben und den Reingrabener Schiefern als andersaltrig gegenüber gestellt wurden.

Nun hat aber Bittner für das Schneeberggebiet auch diese Entwicklung durch Fossilfunde den Raibler Schichten zuweisen können.

Fig. 18.



Ansicht vom Süden:

Der Saurüsselberg scheidet eine rein kalkige Entwicklung (weiß) der Trias im Westen von einer vorwiegend dolomitischen (punktiert) im Osten. Die Gosau-Schichten sind schwarz eingetragen, die unteren Kalkstufen sind senkrecht schraffiert.

Nimmt man diese Gleichstellung vor, so hat man also die große Dolomit-Kalkmasse von einer tonigschiefrigen karnischen Zone durchschnitten. Die oberen Kalk-Dolomitmassen tragen nur mehr auf der Hohen Wand einen liasischen Aufsatz. Diese Zerteilung dürfte trotz ihrer Einfachheit dem bis heute hier paläontologisch Sichergestellten genügen.

Die Ähnlichkeit der Gipfelkalke von Schneeberg und Hoher Wand ist ja schon längst betont worden. Das Auftreten von hellem Dolomit unter den lichten Kalken der Hohen Wand zum Beispiel am Placklesberg und die Liaskalke im Hangenden aber kann man wohl ungezwungen für die Anmeldung einer nahen Verwandtschaft mit der Hauptdolomit-Dachsteinkalk-Liasserie der voralpinen Decke halten.

Mit der Wegräumung der Hallstätterdecke hat man also nicht nur die hochalpine Decke ganz an den Südrand der Kalkalpen verlängert, sondern es ist auch ein recht wahrscheinlicher Verwandtschaftsgrad des Südendes der voralpinen mit dem Nordende der hochalpinen Decke zum Vorschein gekommen.

Der Hauptunterschied dieser beiden Decken besteht ja ohnedies nicht so sehr in der Verschiedenartigkeit der gleichaltrigen Schichten, als vielmehr darin, daß die voralpine Decke vorwiegend aus Hauptdolomit-Dachsteinkalk-Jura besteht, während zum Aufbau der hochalpinen Decke fast ausschließlich ältere Schichten, Werfener Schichten, untere Trias verwendet erscheinen.

Mit diesen Ausführungen will ich die allgemeine Darstellung meines Arbeitsraumes beschließen und mich nun der Einzelbeschreibung zuwenden.

Wie ich in dem Vorbericht angegeben habe, war ich bei den fortgesetzten Studien der exotischen Gerölle in der Oberkreide der Nordalpen allmählich zu der Anschauung gelangt, daß sich die Geröllzufuhren nicht in regionaler Weise aus dem Süden oder Norden der Kalkalpen, sondern eher in lokaler Weise ableiten lassen.

Ich hatte dann weiter versucht, zwischen dem Auftreten exotischer Schubmassen in den Kalkalpen und diesen Gerölien insoferne einen Zusammenhang herzustellen, daß ich die ersteren als Strandgüter an den Ausstrichen von vorgosauischen Schubflächen nehme und die Gerölle hinwieder aus ihrer Aufarbeitung beziehe.

Mit diesem Arbeitsplan war ich an die Untersuchung der niederösterreichischen Gosauflächen herangetreten und ich hatte den Erfolg, mit dessen Hilfe nicht nur neue Lagerstätten solcher Gerölle, sondern auch manche noch in der Literatur unbekannte exotische Scholle zu entdecken.

Wie wohl zu erwarten war, stecken diese exotischen Schollen ausnahmslos in den Rauhwacken und Schiefern der Werfener Schichten.

Jedenfalls erhoffe ich von einer Fortsetzung dieser Studien in den westlich der Rax gelegenen Gebieten noch manchen interessanten Beitrag zu diesen Fragestellungen.

Das von mir bisher daraufhin genauer untersuchte Gebiet umfaßt im großen genommen drei Gosauzüge.

Am bekanntesten davon ist der mittlere, die langgestreckte und tiefe Mulde der Neuen Welt, welche wegen ihrer schönen Kohlenschätze am genauesten durchforscht ist.

Von den zwei anderen Gosaustreifen verläuft der eine ganz am Südrande der Kalkalpen. Er hat merkwürdiger Weise gar kein exotisches Material geliefert. Dagegen ist die im Norden der Hohen Wand, des Schneeberges und der Rax hinziehende Gosauzone fast allenthalben sehr reich an solchen Geröllen.

Die exotischen Schollen, welche ich untersuchen konnte, treten neben zahlreichen kalkalpinen Schollen sowohl am Südrande der Kalkalpen als auch am Nordrande der hochalpinen Decke zutage.

Da aber die hangende Kalkdecke auch dazwischen weithin bis auf die Werfener Schichten abgetragen wurde, kommen auch an solchen Stellen die dieser Basalschichte einverleibten Schubsplitter zum Vorschein.

Das meiste davon ist wohl sicher schon der vorgosauischen Erosion zum Opfer gefallen. Auch die nachgosauische Erosion wird noch viel zerstört haben, während gewiß manche Scholle noch unter der weiteren Gosaubedeckung verhüllt liegen mag.

Wenn man dazu noch die reiche Bewaldung und häufige Verrutschung der Werfener Gebiete bedenkt, so wird man über die Menge der heute noch sichtbaren exotischen Schollen sogar verwundert sein.

I. Der südliche Gosauzug.

Dieser Zug besteht aus mehreren verschiedenen Stücken, die allerdings nur durch geringe Entfernungen voneinander getrennt sind.

Der östliche Abschnitt desselben besteht nur aus einigen gering mächtigen Flecken von roter konglomeratischer Gosau auf den Kalkhochflächen von Mahlleiten und Emmerberg.

Der viel größere westliche Abschnitt wird einmal von einem- Gosaustreifen, der aus der Gegend von Netting bis zur Engschlucht nördlich von Payerbach nahezu geschlossen verläuft, dann von einigen Inseln auf den Kalkhöhen von Dürrenberg—Kuhberg—Schachenberg—Prettschacher gebildet.

Diese letzteren Vorkommen sind alle nicht grob konglomeratisch, sondern feiner sedimentiert und in der Hauptsache etwa als Orbitoidenschichten zu bezeichnen.

Die Gosauschichten auf den Höhen von Mahlleitenberg und Emmerberg sind so tief abgetragen, daß man über ihre Lagerung nicht viel aussagen kann.

Recht interessant sind aber ihre anderen Beziehungen. Der Mahlleitenberg bildet, wie Fig. 19 anzeigt, einen flachen, langgestreckten Rücken aus hellen schönen, ungeschichteten Triaskalken, die weiße, graue, gelbe, rötliche Farbe besitzen und oft tiefgründig von roten Verwitterungsklüften durchzogen sind. In diese Kalke ist ungefähr in 500 *m* Höhe eine recht deutliche Abtragungsfläche eingeschnitten, welche durch zwei Quertäler in drei Stücke getrennt wird.

Das südlichste und größte Stück bildet die sogenannte Steinerebene, welche etwa 524 *m* Höhe innehält. (Fig. 20.)

Eine ganz entsprechende Fläche ist gegenüber im Gehänge des Burgstall entwickelt, die als Brunnerebene benannt wird. Die Steinerebene ist geröllfrei.

Dagegen ist eine etwa 20 *m* niedrigere östlich anschließende Vorstufe mit rotem Lehm bedeckt, in dem sich zahlreiche exotische Gerölle und Stücke von Gosausandsteinen befinden.

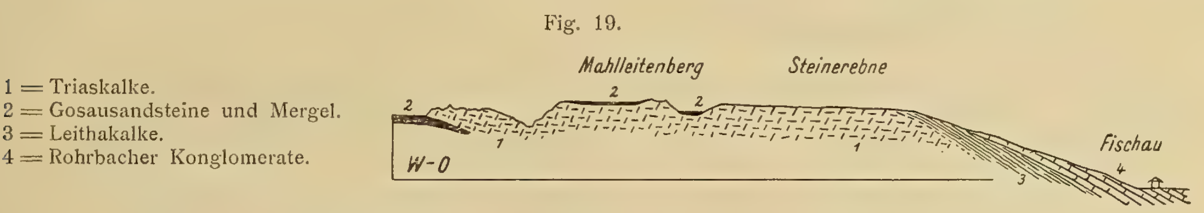
Ich sammelte hier zahlreiche Quarzite, aber auch Gneiße bis zu Kürbisgröße.

Die Fläche am Gipfel des Mahlleitenkopfes trägt noch Gosausandsteine und Mergel ebenfalls mit exotischen, doch viel kleineren Geröllen.

Auch in dem Quertal zwischen diesen beiden Hochflächen ist Gosau aufzustöbern.

Interessant ist nun zu sehen, daß sich im Süden und Osten die tertiären Schichten mit einem kräftigen Gefälle von 20 bis 30° an die Steinerebene schließen. Die Nulliporenkalke (Leithakalke)

Fig. 19.

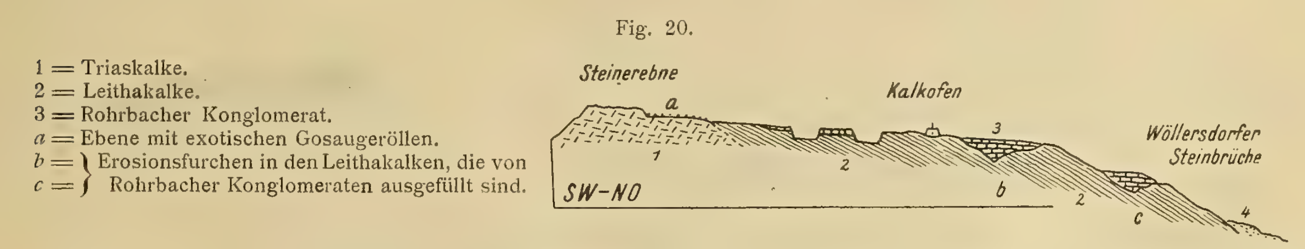


reichen dabei nahe bis 500 *m* empor und zeigen sich hier ebenfalls von einer horizontalen Abtragungsfläche begrenzt, in welche tiefe Furchen eingesägt sind, in denen die horizontalen Schichten des Rohrbacher Konglomerates eingelagert sind. Diese jungen Schotter sind hier mit einer Mindestmächtigkeit von 200 *m* aufgeschüttet. Sowohl die Leithakalke als auch die Schichten des Rohrbacher Konglomerates unterteufen mit steilem Einfallen die diluviale Ebene von Wiener Neustadt.

In dem Rohrbacher Konglomerat habe ich nur Kalkgerölle gefunden. Dieselben sind meist auffallend klein und wohl gerundet.

Zwischen dem Mahlleitenkopfe und dem Burgstall schiebt sich nun ein breiterer Talzug ein, in welchem die Gosau der Neuen Welt unmittelbar bis zum Tertiärsaum herausstreicht.

Fig. 20.



Die hier vorhandene Gosau ist wieder eine grobkonglomeratische, reich an exotischen Geröllen von beträchtlicher Größe.

Die Anhöhen östlich des Burgstall enthalten da wohl die reichsten Lagerstätten exotischer Gerölle. Ich traf massenhaft weiße, grüne, gelbliche, violette Quarzite, die die Größe von starken Kürbisen erreichen.

Neben den Quarziten kommen seltener Granit- und Gneißgerölle vor. Auch schwärzliche Arkosen ganz von Aussehen jener aus dem Grauwackenkarbon habe ich aufgelesen.

Dagegen sind mir weder Porphyre, Melaphyre noch auch Mandelsteine hier untergekommen.

Wenn man die verschiedene Lagerung der Gosau auf den Kalkhöhen und in den beiderseits der Zunge des Mahlleitenkopfes eingeschittenen Talfurchen bedenkt, so wird die Annahme einer beträchtlichen nachgosauischen Überschiebung dieser Triasmassen recht wahrscheinlich.

Der Gosaurest zwischen Emmer- und Größenberg hat, wie Fig. 21 erklärt, keine Besonderheiten. An der Nordseite des Grössenberges fällt aber die sehr flache Neigung der anstoßenden Gosau auf.

Neue Einsichten gewährt uns wieder das schöne Profil über den Zweierwald bei Rothengrub. Die nachfolgende Fig. 22 ist als Ansicht nach den tiefen Aufschlüssen des Durchbruches von Höflein gezeichnet.

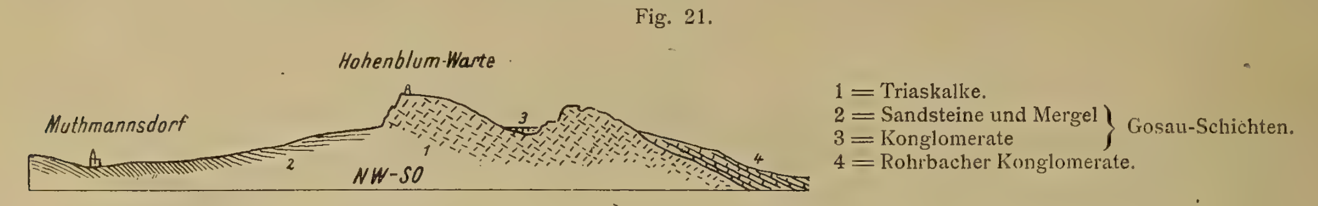
Wir sehen zunächst die Gosauschichten in tiefe Furchen der hellen oft alabasterartigen schönen Triaskalke eingelagert.

Nicht selten ist die Oberfläche dieser Kalke unter der Gosau zu bunten Breccien mit rotem Zement umgearbeitet. Die Orbitoidenschichten selbst enthalten keine Konglomerate.

Am Westabhang ist eine größere, wohl auch zur Gosau gehörige Masse von grober, rotzementierter Kalkbreccie erschlossen.

Die Triaskalke stoßen mit steiler Grenze im Norden an ein mächtiges Gewölbe von Werfener Schichten, das den eigentlichen Zweierwald trägt.

Fig. 21.



1 = Triaskalke.
2 = Sandsteine und Mergel } Gosau-Schichten.
3 = Konglomerate
4 = Rohrbacher Konglomerate.

Graue, dann gelbliche, grüne Tonschiefer sowie rote und grüne Sandsteine bilden dieses flache, kleinwellig verbogene Gewölbe.

An drei Stellen sind nun in diesen Werfener Schichten fremdartige Gesteine eingeschlossen, und zwar bei Strelzhof eine kleine Serpentinscholle, gegenüber von Kirchbühel eine längere Serpentinmasse und auf der südlichen Kuppe des Zweierwaldes eine Scholle einer eigenartigen Kieselschieferbreccie, die stellenweise in Quarzoolithe übergeht.

Die Serpentinschollen sind von gelben Rauhwacken und gelben Kalken umhüllt.

Bei der kleineren Scholle von Strelzhof enthält die gelblich-rötlich zementierte Kalkmasse Bröckchen von Kalken und Werfener Schichten, in der Nähe des Serpentins auch viele Stückchen dieses Gesteines.

Fig. 22. Fig. 23.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Serpentin und Rauhwacken.
3 = Kieselschieferbreccie und Quarzoolithe.
4 = Triaskalk.
5 = Gosausandsteine, Orbitulitensandsteine.

a = Gelbe Kalke und Rauhwacken.
b = Serpentin.

Bei dem weit größeren Vorkommen von Kirchbühel sehen wir ebenfalls die Einhüllung mit gelber Rauhwacke und gelben Kalken.

Wie Fig. 23 darstellt, sind diese Kalke und die wohl daraus hervorgegangenen Rauhwacken sehr innig mit dem Serpentin verschuppt.

Zwischen den Serpentinschollen und der merkwürdigen Kieselschieferbreccie besteht keinerlei Zusammenhang.

Diese letzteren Gesteine dürften wohl diejenigen sein, welche angeblich im Zweierwald den Anlaß zu alten Goldschürfen gegeben haben.

Diese Breccie bildet eine 20 bis 30 *m* breite, zirka 100 *m* lange und etwa 20 bis 30 *m* dicke Scholle, die in den Werfener Schichten steckt.

Mir sind bisher keine gleichen Gesteine sonst bekannt geworden, doch dürfte an ihrem paläozoischen Alter wohl nicht zu zweifeln sein.

So deutlich sich diese interessanten Schollen als tektonische Mitläufer erweisen, so sind mir doch in der angrenzenden Gosau nirgends daraus verfertigte Gerölle aufgefallen.

Es macht allerdings hier den Eindruck, als wenn die Serpentine erst in sehr junger Zeit aus den sie umhüllenden Rauhwacken herausgeschält worden wären.

Das Profil des Erbstollens bei Unterhöflein haben wir schon in Fig. 6 kennen gelernt. Die Rauhwacken-Gipszone ist auch hier als eine tektonische Einschaltung zwischen den Aufwölbungen der Werfener Schichten des Eichberges im Süden und der Sonnleiten im Norden zu deuten.

Fig. 24.

1 = Werfener Schiefer.
2 = Triaskalke.
3 = Gosausteine, Orbitulitensandsteine.
4 = Rötliche, gelbliche, weiße Kalke, Trias?



Von Würflach an treten die Gosauschichten als ein schmaler Saum am Fuße des Dürrenberges zwischen Trias und Tertiär heraus.

Bei Reith löst sich dann dieser Saum von der Triaswand ab und bildet den eigentümlichen 523 *m* hohen Kambühel.

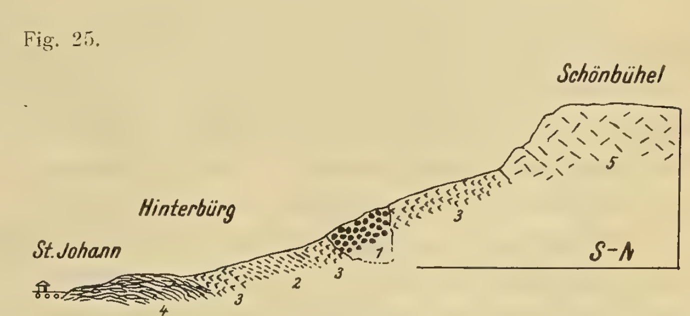
Fig. 24 gibt einen Schnitt durch diesen langen Bühel und die nördlich aufragende Triashochfläche Auf der Kehr wieder.

Die Gosauschichten des Kambühels lagern unmittelbar auf stark gefalteten Werfener Schichten, und zwar in fast horizontaler Schichtung. Der ganze untere Teil besteht aus rötlichen bis gelblichen Kalksandsteinen mit Orbitoiden und zahlreichen Fossilien, über welche schon Bittner berichtet hat.

Auf dem sehr flachen Rücken selbst aber tritt eine schmale Decke von hellen weißlichen gelben bis rötlichen Kalken und Kalkbreccien auf, die wohl auch noch zur Gosau gehören mögen. Doch ist auch der Gedanke nicht von der Hand zu weisen, daß man es allenfalls hier mit dem Rest einer überschobenen Triasdecke zu tun hat.

Fig. 25.

1 = Verrucano.
2 = Gelbliche Mergel und Tonschiefer, Quarzsandsteine mit Eisenglimmer, rötliche grüne Werfener Sandsteine und Schiefer.
3 = Gelbliche, rötliche Rauhwacke mit Einschlüssen von Brocken von Werfener Schiefern.
4 = Gelbliche, rötliche, grüne Flaser- und Kielkalke.
5 = Helle ungeschichtete, weiße, rötliche Triaskalke.



Jedenfalls besitzen diese Kambühelkalke eine auffallende Ähnlichkeit mit den Kalken der gegenüber aufstrebenden Triaswände.

In dem Sattel zwischen Kambühel und Triaswand streichen die Werfener Schichten offen zu tage.

Hier kann man die Beobachtung machen, daß auch die Werfener Schichten nicht nur in nordsüdlicher, sondern auch in ostwestlicher Richtung kräftig gefaltet sind.

Die hellen Triaskalke legen sich dann unvermittelt auf die Werfener Schichten. Sie bilden eine weite flachwellige Hochebene, die an zwei Stellen nördlich vom Kuhberg und westlich vom Dürrenberg von Gosauresten bedeckt ist.

Mit dem Kambühel endet der zusammenhängende Gosausaum und wir treffen zunächst erst wieder bei Döppling einen kleinen schlecht erschlossenen Gosaulappen unmittelbar auf Werfener Schichten.

Westlich von der tiefen Werfenerbucht von Flatz begegnen wir nun am Südhang des Triasplateaus von Schönbühel—Gösing unter den lichten Triaskalken zunächst einer großen Masse von gelblich-rötlichen Rauhwacken. In diesen kalkigen Rauhwacken zeigen sich häufig Einschlüsse von grünen, seltener von roten Werfener Schichten.

Im Gehänge östlich von Hinterbürg konnte ich nun, wie Fig. 25 darlegt, in diesen Rauhwacken eine große Scholle von prachtvollem bunten Verrucano mit glasigem Quarzzement entdecken. Kleinere Schollen liegen etwas östlicher in denselben Rauhwacken.

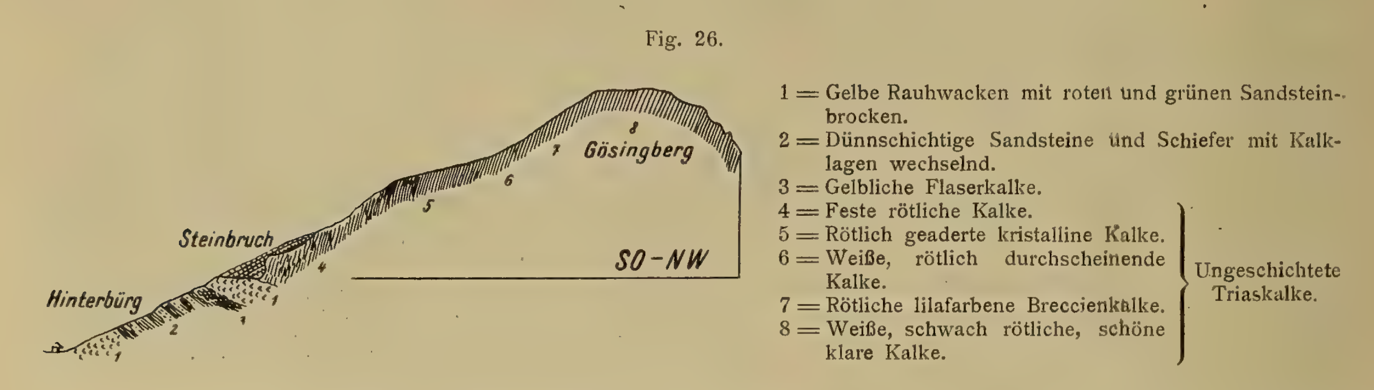
Auch unterhalb dieser Verrucanoscholle tritt noch Rauhwacke hervor. Dann folgen gegen unten gelbliche Mergel und Tonschiefer, Quarzsandsteine mit Eisenglimmer sowie rötliche und grüne Werfener Schichten. Eine neuerliche Rauhwackenschuppe trennt diese Werfener Schichten von einem weiten flachen Gewölbe von gelblichen, rötlichen Flaser- und Kielkalken.

Allem Anschein nach gehören sowohl diese Kalke als auch die Rauhwacken ins Hangende der Werfener Schichten und sind hier durch tektonische Verschuppung in diese Lage gekommen.

Am Südabhang des Gösing herrscht auch dieselbe Gruppierung nur dadurch vereinfacht, daß die Verrucanoschuppen zu fehlen scheinen.

Dafür wiederholen sich Rauhwacken und Werfener Schichten noch öfter.

Fig. 26.



Ähnlichen mehrfältigen Verschuppungen von Rauhwacken, exotischen Schollen und Werfener Schichten begegnet man am Südabfall der nördlichen Kalkalpen gar nicht selten.

Es ist dies jedenfalls kein Zeichen von großen weitausholenden Überschiebungen, sondern vielmehr die Verkündigung einer kurzwelligen Verfaltung und Verschuppung ohne allzu starke horizontale Verschiebungen. Die Deckenlehre ist hier gezwungen, für diese Verschuppungen einen eigenen Anlaß, eine entsprechende lokale Begründung zu erbringen.

Am Südhang des Gösing können wir auch beobachten, wie tief das Gehänge mit altem Gehängeschutt verkleidet ist. In einem verlassenen Steinbruch westlich oberhalb von Hinterbürg wurde ein etwa 10 *m* hoher Überhang des hier anstehenden festen rötlichen Triaskalkes bloßgelegt, der vollständig unter grellrot umkrustetem Schutt eines höher durchstreichenden blanken schneeweißen Kalkes verschüttet war, wie Fig. 26 ausweist.

An der Südwestseite des Gösing stellt sich nun in unserem Triaszug zum erstenmal in großen Massen hellgrauer arg zertrümmerter Dolomit ein.

Unter ihm streichen noch Werfener Schichten aus und unter diesen taucht dann erst das vorhin beschriebene flache Gewölbe von gelblichen grauen Kalken hervor, das sich gegen St. Johann hinzieht.

Dieser Dolomit bildet aber nicht das ungestörte Liegende der schönen lichten Gipfelmauern des Gösing, sondern ist von diesen durch eine Schubfläche getrennt, an welcher sich an der Westseite dieses klargestirnten Berges über unserem Dolomit eine reichere, ebenfalls von Bittner und Geyer genauer beschriebene Schichtfolge einschiebt.

Es folgen da über dem unteren Dolomit wechselnd hellere und dunklere, sehr gut geschichtete Kalke, schwarze Tonschiefer, dunkelgraue Kalke mit schwarzen Hornsteinen, gelbliche, graue, plattige

Kalke mit Wülsten, endlich dunkle Kalke, die zu Füßen der silbergrauen Gipfelmauern des Gösing hinstreichen.

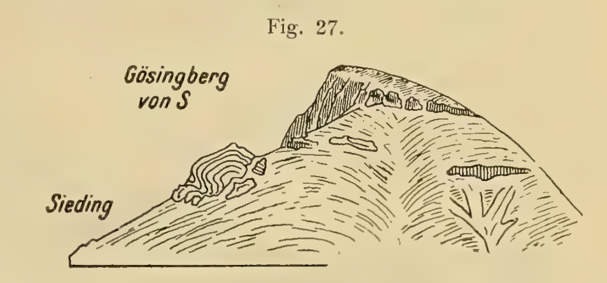
Die zunächst auf dem Dolomit liegenden dünnschichtigen Kalke sind zu einer klaren, gegen Westen vorgeschobenen Falte gestaut, wie Fig. 27 bis 28 angibt.

Aus diesen Kalken hat Bittner Retzia trigonella und aus der Tonschieferserie mehrere Raiblerfossilien gewonnen.

Das Gösingprofil ist auch insofern bemerkenswert, als es uns aufmerksam macht, daß man selbst zwischen der unteren und oberen Triaszone mit ostwestlichen Verschiebungen rechnen muß, was bei einem Vergleich beider Triasreihen in einem und demselben Profil nicht zu vergessen ist.

Beide Triasserien übersetzen mit unveränderten Merkmalen den Durchbruch der Sierning.

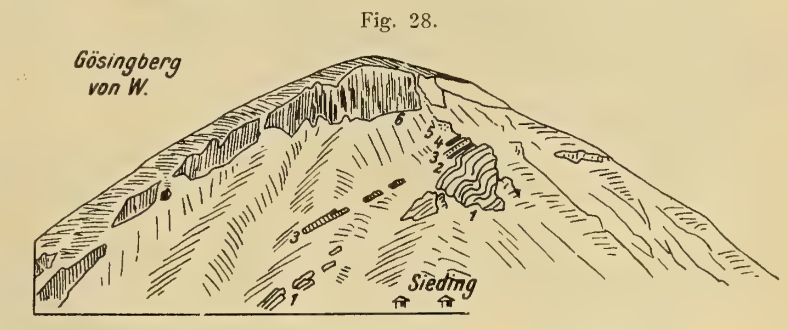
Fig. 27.



An dem schmalen Kamm, der sich zwischen Schloß Stixenstein und Gadenweithertal nach Sieding herabzieht, Fig. 29, aber entdecken wir zwischen ihnen die Einschaltung einer heftig zerpreßten Zone von grünen phyllitischen Schiefern, Sandsteinen, weißlichen Quarziten, gelben, roten Rauhwacken, gelblichen Kalken sowie Brocken eines grünen arg zerarbeiteten Gesteins, das sich unter dem Mikroskop als ein nicht näher bestimmbares serpentinisiertes Massengestein herausgestellt hat.

Fig. 28.

1 = Gutgeschichtete wechselnd helle und dunkle Kalke.
2 = Schwarze Tonschiefer, graue Mergel.
3 = Dunkelgraue gutgeschichtete Kalke mit schwarzen, fettigen Hornsteinen.
4 = Graue Mergel, Breccienkalke, Kalke mit Wülsten.
5 = Dunkle Kalke.
6 = Ungeschichtete lichte weiße, fleischrote Kalke mit durchscheinenden Kanten.



Es ist eine typische tektonische Mischungszone von Werferner Schichten mit älteren Gesteinen. Das Durchstreichen dieser Zone dürfte auch das Auftreten der mächtigen Stixensteiner Quellen bedingen. Geyer hat an Stelle dieser Mischungszone seinerzeit das Auftreten von Gosau verzeichnet, was ich hier nicht bestätigen konnte.

Fig. 29.

Schacherberg — Stixensteinerberg — Schafkogl — Sieding — Gadenweit — NW-N-S

a = Gelbliche Kalke und Kalksandsteine mit Orbituliten. Als Seltenheit Einschlüsse von rotem Verrucano. } Gosau
b = Graue Mergel mit Schalen- und Pflanzenresten. } Gosau

1 = Dunkelgraue feingeschichtete Mergel und Tonschiefer.
2 = Dunkle, gutgeschichtete Kalke,
3 = Dunkler und heller Brecciendolomit.
4 = Graue, gutgeschichtete Kalke.
5 = Schwarze Tonschiefer.
6 = Graue Kalke mit schwarzen, rundlichen oder ovalen Hornsteinen.
7 = Buntes Gemische von gelben und grauen zelligen Rauhwacken, gelben bis roten kristallinischen Rauhwacken, weißen, grünen Quarziten, rötlichen Kalkbrocken, grünen phyllitischen Schiefern, Serpentin.
8 = Aschgrauer Brecciendolomit.
9 = Helle rötliche Kalke.

Mit der Einschaltung der knapp bei Schloß Stixenstein beginnenden Mischungszone gelangen wir in das komplizierteste Stück unseres südlichen Triasrandes.

Es ist das Stück zwischen Sieding und Tiefenbach mit dem durch die Arbeiten von Kober interessant gewordenen Florianikogl.

Ein Profil durch den Kamm zwischen Sieding und Thann, Fig. 30, ergibt drei Rauhwackenzonen zwischen unterer und mittlerer mit den uns schon bekannten gelben Flaserkalken zwischen mittlerer und oberer mit glimmerigen Sandsteinen, grünlichen Phylliten, Verrukano und bunten fremdartig aussehenden Tonschiefern.

Die oberste mächtige Rauhwackenzone enthält auch Erze, wohl Eisenglimmer, der hier und auch weiter westlich abgebaut worden ist.

An dem eben erreichten Rauhwackensattel löst sich der lange Kamm des Florianikogls vom Triasrand, um ostwärts gegen Bürg hinauszustreben. Die besten Aufschlüsse sind hier nicht am Abhang gegen Thann, sondern an dem gegen Tiefenbach zu treffen und auch die neue Straße, die vom Schloß Vöstenhof aufs Gahnsplateau leitet, hat das bewachsene Gehänge vortrefflich aufgebrochen.

Fig. 30.



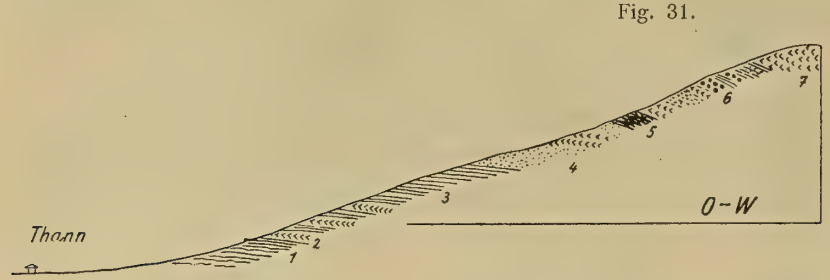
1 = Bunte Tonschiefer. — Silur?
2 = Verrucano.
3 = Gelbe Rauhwacke mit Erzspuren.
4 = Schwarzer, weißadriger Kalk.
5 = Gelbliche, rötliche Flaserkalke.
6 = Dunkler Brecciendolomit.
7 = Geschichtete gelbliche, rote Kalke.
8 = Lichte graue, rote Kalke und Kalkbreccien.

Die obere Triasserie ruht mit deutlicher flacher Überschiebung auf der obersten Rauhwackenzone und setzt mit dunklem Brecciendolomit ein.

Steigt man von Thann den tiefen Graben zwischen Florianikogl und Fuchsleiten hinauf, so begegnet man den Aufschlüssen von Fig. 31.

Man ist hier sehr in Zweifel, hat man nur eine abweichende Ausbildung der Werfener Schichten oder doch ältere Tonschiefer vor sich, die hier vielfältig mit Rauhwacken verquickt sind.

Fig. 31.



1 = Rote, violette, feste Tonschiefer und Sandsteine — Silur.?
2 = Gelbe Rauhwacke mit Sandstein- und Dolomitbrocken.
3 = Vorherrschend grüne und violette Schiefer?
4 = Grüne und violette Sandsteine.
5 = Gelbe flaserige Kalke.
6 = Verrucano.
7 = Mächtige gelbe Rauhwacke mit Eisenerzen.

Ich lege hier in Fig. 32 eine Ansicht der Südseite des Florianikogels vor, ohne zunächst an eine tektonische Auflösung zu denken.

Neu auftretende Gesteinsarten sind abgesehen von den Quarzphylliten und Grauwacken des Untergrundes weiße, vollkristalline Kalke sowie dunkelrote und dunkelgrüne bis schwärzliche Kieselschiefer, welche von Vacek seinerzeit als Mitglieder des Silurverbandes erkannt wurden. Ich habe keinen Grund, an dieser Feststellung zu zweifeln.

Die Kieselschiefer dürften übrigens mit den auffallenden bunten Tonschiefern der Gegend von Thann identisch sein und sich nur durch eine stärkere, wohl lokale Verkieselung davon unterscheiden.

Wir haben also über einer teilweise intensiv gefalteten Masse von Grauwackengesteinen zunächst einzelne Linsen von schönem, festem Verrucano. Die Linse an der Straße trägt die Widmungstafel dieses Straßenbaues.

Es ist wahrscheinlich eine tektonisch zerrissene ursprünglich einheitliche Schichtlage, die sich flach gegen das Triasgebirge zu senkt. Darüber dürften Werfener Schichten liegen. Deutlich erkennt man dann eine Rauhwackenzone sowie dünngeschichtete, stark gestreckte gelbe Flaserkalke, welche an ihrer Basis durch Wechsellagerung mit den Rauhwacken verbunden sind.

Auf diesen wohl dem Hangenden der Werfener Schichten angehörigen Kalken lagert dann die eigentümlich geformte Zone der weißen Silurkalke, die ihrerseits von den roten und grünen Kieselschiefern übergriffen sind.

Betrachtet man die vorliegende Zeichnung genauer, so kommt man zur Vorstellung, daß sich die vorhandene Komplikation etwas lösen läßt, wenn man die Lagerung der Silurkalke als durch ostwestliche Verschiebungen verbogen nimmt. Dann läßt sich wenigstens der vordere und hintere Teil des Florianikogls mit den gelben Flaserkalken unter dem Silur verbinden.

Das merkwürdige Profil des Florianikogls erhält nun durch die Aufschlüsse der neuen Straße eine wertvolle Ergänzung.

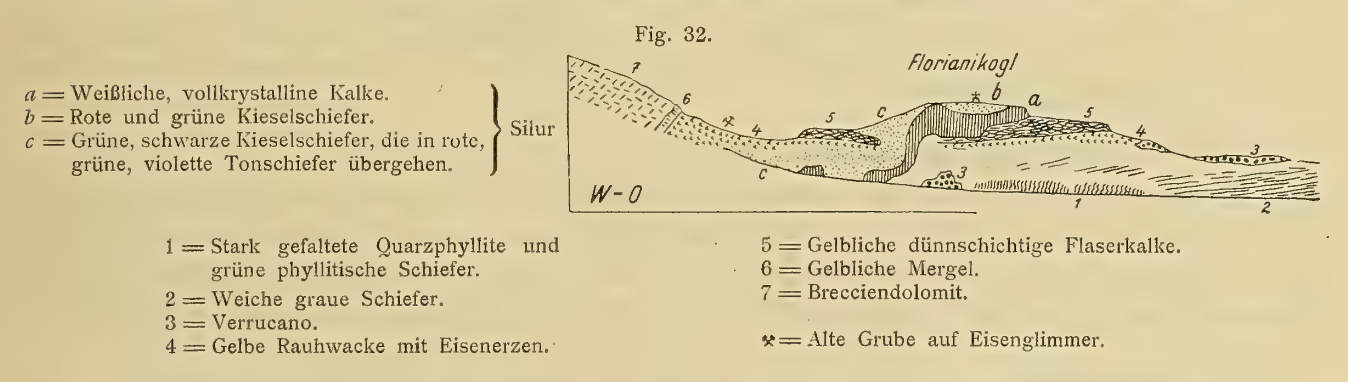
Diese Straße steigt von der Westseite unseres Kogls in mehreren Schleifen den Bergrücken neben dem Klausgraben hinan.

Fig. 33 führt die dabei aufgedeckten Verhältnisse vor. Wir erkennen wieder die Silurkalke und Kieselschiefer zwischen Rauhwacken und gelben Kalken.

Die Rauhwacken aber werden von dunklem Brecciendolomit überschoben, der die Basis der Gahnstrias hier bildet.

Auf diesem dunklen Dolomit liegt nun die Gosau mit prächtig aufgeschlossenen Breccien.

Fig. 32.



a = Weißliche, vollkrystalline Kalke.
b = Rote und grüne Kieselschiefer.
c = Grüne, schwarze Kieselschiefer, die in rote, grüne, violette Tonschiefer übergehen.
(*a*–*c*: Silur)

1 = Stark gefaltete Quarzphyllite und grüne phyllitische Schiefer.
2 = Weiche graue Schiefer.
3 = Verrucano.
4 = Gelbe Rauhwacke mit Eisenerzen.
5 = Gelbliche dünnschichtige Flaserkalke.
6 = Gelbliche Mergel.
7 = Brecciendolomit.

⚒ = Alte Grube auf Eisenglimmer.

Besonders am Eck gegen den Klausgraben ist eine Breccienwand von ausgezeichneter Schönheit ausgesprengt worden.

Die Breccien enthalten neben allerlei bunten Triaskalken sehr viele dunkle Dolomitbrocken ihres Untergrundes. Es gibt Breccienräume mit vorwiegend kalkigen und solche mit vorwiegend dolomitischen Komponenten.

Die kalkigen Breccien bestehen aus einem bunten Gemisch von grauen, weißlichen, rötlichen fleischfarbenen Kalken, die mit wenig Zement gefügt sind. Manchmal tritt eine graue Kalkmasse als Bindung auf. Diese enthält dann oft massenhaft Fossilien, insbesondere Korallen.

Exotische Bestandteile habe ich keine gesehen.

Die Gosau enthält auch nichts von den benachbarten Rauhwacken und Silurgesteinen. Sie greift auch nicht darauf über und man wird nicht fehlen, wenn man die vorliegende Überschiebung als eine nachgosauische bezeichnet.

Das Profil durch den Florianikogl bietet aber auch bei der Fortsetzung über das Gahnsplateau bis zur Rohrbacherlinie, Fig. 34, genug des Überlegenswerten. Wir treffen da zunächst über dem Brecciendolomit mit der Gosau eine mächtige Folge von hellen Kalken, die mit dunklen, knolligen, wohlgeschichteten Kalken wechsellagern.

Gegen oben verschwinden die Einlagen der dunkeln Kalke.

Auf dem Hals und am Abstieg gegen Norden herrschen lichte Kalkmassen vor. Unter diesen Kalken stößt man dann bald auf eine sehr mächtige Zone von Werfener Schichten, die von Rohrbach scharf keilförmig gegen Süden vorspringt. An der Ostseite ist dieselbe von einer steilen Verwerfungsfläche begrenzt, die am Bischofskogl und dem Becken von Breitensohl vorbei etwa 3 *km* weit zu verfolgen ist.

Wie das zu unserem Querprofil senkrechte Längsprofil, Fig. 35, beweist, scheidet diese Verwerfung das von Gosau erfüllte Becken von Breitensohl sehr scharf von dem benachbarten Werfener Gebiet, doch kann diese Störung schon vorgosauisch gewesen sein, da man auf den Werfener Äckern westlich derselben reichlich Gosausandsteine herumliegen sieht.

Es ist aber hier auch möglich, daß diese Kalksandsteine vielleicht künstlich herbeigeschafft wurden.

Die genauere Erforschung dieses Werfener Gebietes hat nun einen seltenen Reichtum an exotischen Schollen enthüllt, von denen noch manche in den tiefen Wäldern verborgen liegen mögen.

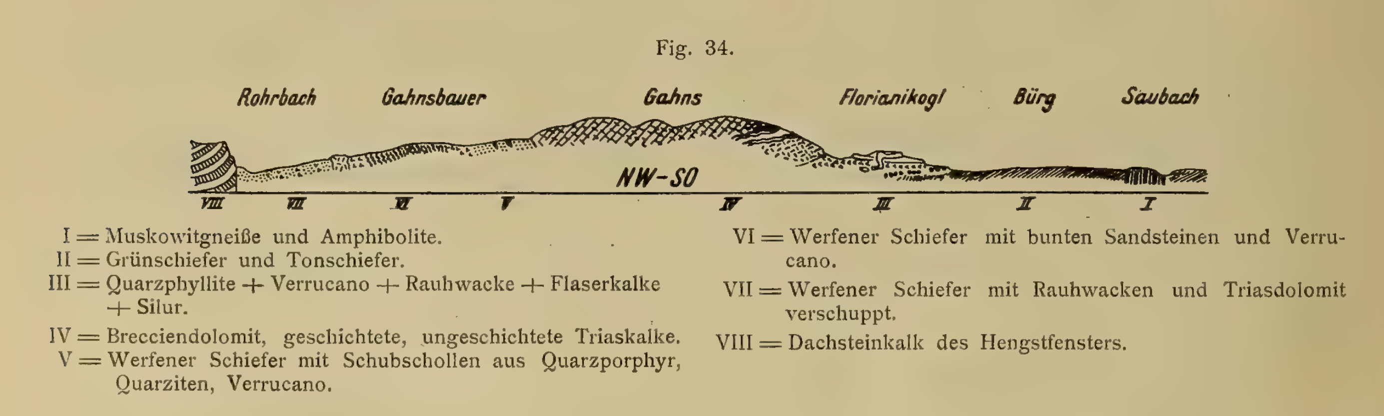
Fig. 33.



1 = Weißliche vollkrystalline Kalke.
2 = Grüne, schwärzliche flatschige Schiefer, rote, grüne Tonschiefer. } Silur.
3 = Verrucano.
4 = Gelbe Rauhwacke mit Eisenglimmer,
5 = Dunkelgrauer Brecciendolomit.
6 = Gosaubreccien.
7 = Gosaubreccie — grobe Breccie, die bunten Kalkstücke sind mit wenig Kalkzement aneinandergefügt.

Alle Einschaltungen stehen hier im Gegensatz zur Südseite sehr steil und wiederholen sich auffällig oft. Silurgesteine habe ich ebensowenig wie bunte Kieselschiefer gefunden, dafür aber verschiedene Quarzporphyre, Quarzite, erzführenden Verrucano. Näher gegen Rohrbach tritt ein Dolomitstreifen zwischen Rauhwacken und Werfener Schichten auf und diese letzteren wiederholen sich vielmals.

Fig. 34.



I = Muskowitgneiße und Amphibolite.
II = Grünschiefer und Tonschiefer.
III = Quarzphyllite + Verrucano + Rauhwacke + Flaserkalke + Silur.
IV = Brecciendolomit, geschichtete, ungeschichtete Triaskalke.
V = Werfener Schiefer mit Schubschollen aus Quarzporphyr, Quarziten, Verrucano.
VI = Werfener Schiefer mit bunten Sandsteinen und Verrucano.
VII = Werfener Schiefer mit Rauhwacken und Triasdolomit verschuppt.
VIII = Dachsteinkalk des Hengstfensters.

In der benachbarten Gosau von Breitensohl und Gadenweith, die keine gröberen Konglomerate und Breccien führt, habe ich nur kleine Kiesel und ein Gerölle von Verrucano gefunden. Es ist dieser Mangel nicht verwunderlich, da auch hier vor allem Orbitoidenschichten zur Ablagerung kamen.

Vergleicht man nun in diesem Querprofil die interessanten Aufschlüsse im Süden und Norden des Gahnsplateaus, welche hier ja nur etwa 2 *km* voneinander getrennt sind, so wird man die Unmöglichkeit zugestehen, diese Verhältnisse im Liegenden der Gahnstrias durch Einschaltung von einer oder mehreren da durchstreichenden Decken lösen zu wollen.

Nur die Werfener Schichten mit ihren Rauhwacken und Kalken sind dieselben, die anderen Bestandteile wechseln in einer Weise und auf so kurze Entfernungen, daß eine gegenseitige Verbindung derselben ein aussichtsloses Unterfangen bleibt. Im Süden sind es die weißen Silurkalke und die bunten Kieselschiefer, im Norden die Quarzporphyre, Quarzite und der Dolomit, welche die ganz lokale Färbung dieser nur als Mischungszone großen Stiles verständlichen Masse bedingen.

Für Kober war dieser „unscheinbare Rest silurischer Schichten für die Deutung der Tektonik des Schneeberg-Raxgebietes von eminenter Bedeutung“. Er vergleicht den Florianikogl mit der Gegend von Neuberg und hält die Linie Neuberg-Sieding für die bedeutendste Dislokationslinie unseres Gebietes, die er als „norische Linie“ bezeichnet. Ihr entlang soll Silur über Karbon geschoben und seinerseits von der Hallstätterdecke überfahren worden sein. Über diese nahm dann erst die hochalpine Decke ihren Lauf.

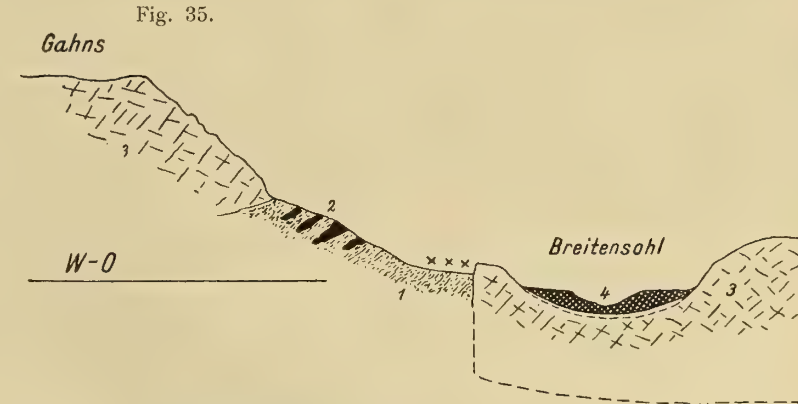
Ich vermag diesen Ausführungen nicht zu folgen.

Was Kober in diesem Querschnitt als Vertretung der Hallstätterdecke anführt, ist die von mir als bunte Gosaubreccie beschriebene Zone an der neuen Straße auf Fig. 33. Er hat diese Breccie in seiner Arbeit „Über die Tektonik der südlichen Vorlagen des Schneebergs und der Rax — Mitteilungen der Wiener geologischen Gesellschaft 1909“ auf p. 503 bis 504 als Hallstätter Kalke gedeutet, welche hier tektonisch zu einem riesigen Blockwerk verarbeitet sind. Diese tektonische Breccie soll von einer Transgressionsbreccie der Gosau bedeckt sein.

Ich habe schon angegeben, daß es sich hier nach meiner Einsicht um Gosaubreccien handelt, welche auch nicht unter dem dunklen Brecciendolomit, sondern schon auf demselben liegen.

Dieses Ergebnis ist deshalb interessant, weil wir beim Vorrücken gegen Westen gleich auf den langen Gosaustreif stoßen, der vom Klausgraben geschlossen bis zur großen Schlucht der Eng zu verfolgen ist.

Fig. 35.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Schollen von Quarzporphyren, Quarziten, Verrucano.
3 = Gelbe, rötliche, weiße Triaskalke.
4 = Gosausandsteine.

Bei ××× liegen auf den Äckern Gosausandsteine herum.

Während wir also auf der einen Seite des Klausgrabens die erwähnte bunte Gosaubreccie auf dem dunklen Dolomit der oberen Triasserie treffen, begegnen wir auf der Gegenseite dieses Grabens einer weit mächtigeren Gosaumasse, welche aber dem unteren Triasstreifen aufsitzt.

Diese letztere Gosau ist ohne Breccien und ohne Konglomerate in der Fazies von Orbitoidensandsteinen. Die Gosaubreccie an der neuen Straße oberhalb von Tiefenbach ist die einzige Stelle, wo mir ab Südabfall des Gahnsplateaus auf der oberen Triasserie Gosau bekannt geworden ist.

Man könnte hier annehmen, daß uns diese zufällig erhalten gebliebenen Breccien einen Rest des ursprünglichen Gosaustrandes am Südrande unseres Triasplateaus überliefert haben.

Das würde aber auch die Vorstellung einer ehemaligen tieferen Talfurche zwischen der heutigen oberen und unteren Triasserie wachrufen.

Damit läßt sich jedenfalls die Tatsache gut vereinigen, daß die Gosau entlang der Gahnsterrasse sich transgressiv über alle Glieder der unteren Triasserie von den gelben Kalken der oberen Werfener Schichten bis zu den Hangendschichten der Raiblerzone breitet. Wir hätten also nicht nur entlang der Rohrbacherlinie. sondern auch hier tektonisch erdrückte alte Talformen vor uns.

Untersuchen wir nun die Profile jenseits des Klausgrabens, so zeigt uns das nächste, Fig. 36, wieder in seinem unteren Teil die Einschaltung von exotischen Schollen.

Es sind Schollen von Quarzporphyr und Diabasporphyrit. Sie werden von Verrucano unterteuft und stecken selbst in roten-grünen Werfener Schichten. Darüber folgen gelbe Rauhwacken und gelbliche Flaserkalke.

Die rötlichen massigen Gosausandsteine lagern sich unmittelbar darauf und tragen eine deutliche Terrasse. Darüber bauen lichte Kalke, Dolomitmassen und weitere helle Kalke den Gahnsabhang fertig. Dieses ganze Stück des Südrandes verläuft hier nordsüdlich, denn wir befinden uns noch immer in dem mächtigen, tief einspringenden Winkel zu beiden Seiten des Sierningdurchbruches, der von Schönbühel bis zur Roten Wand reicht. Fig. 36 verläuft also von O → W.

Das folgende Profil, Fig. 37, aber befindet sich bereits wieder in der normalen Richtung. Es schneidet den Vorsprung zwischen Gasteil und Prigglitz zur Roten Wand empor.

Hier ist die Gosau besonders gut entwickelt und aufgeschlossen.

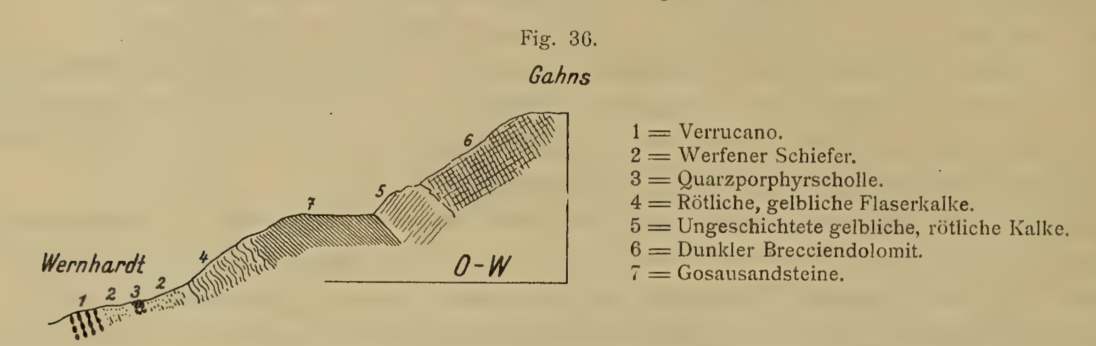


Fig. 36.

Sie greift nur vorne noch auf die gelben, rötlichen, grauen dünngeschichteten Flaser- und Kielkalke über, dann ruht sie auf einer prächtigen Mauer von lichten Kalken. Hier sind die Kalksandsteine der Gosau so fest mit der blanken Wand verschweißt, daß der oberste Teil der lotrechten Wand schon aus dieser besteht. Über der schön bewachsenen Gosauterrasse tritt dann wieder die obere Triasserie als Aufschiebung hervor. Sie besteht in der Hauptmasse aus hellen bis dunklen zertrümmerten, manchmal etwas rauhwackigen Dolomiten, die von hellen Kalken unter- und überlagert werden.

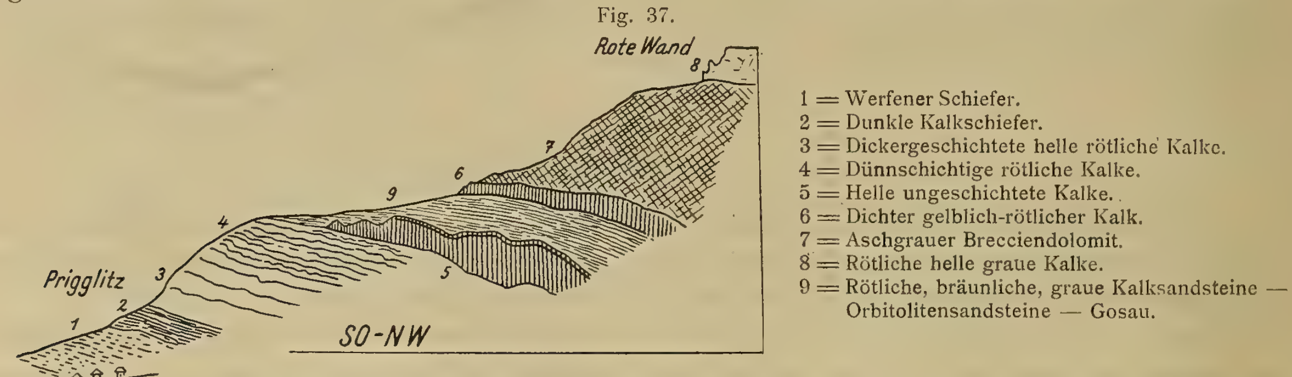


Fig. 37.

Westlich von Prigglitz greifen die Gosausandsteine wieder unmittelbar auf die dünnschichtigen gelben-rötlichen-grauen Flaserkielkalke über.

Wenn wir da ein längeres Profil, Fig. 38, von Gloggnitz bis zum Gahnsplateau betrachten, so haben wir wieder eine Einschaltung von Verrucano- und großen Quarzmassen in die violetten-roten-grünen Werfener Schichten vor uns. Im Verrucano sind Erze, Rauhwacken und Werfener Schichten sind darüber haufenweise vermischt.

Über die Werfener Schichten legen sich dann die bekannten dünnschichtigen Flaserkalke, welche unmittelbar die Gosau tragen.

Der obere Teil des Profils ist schon bekannt.

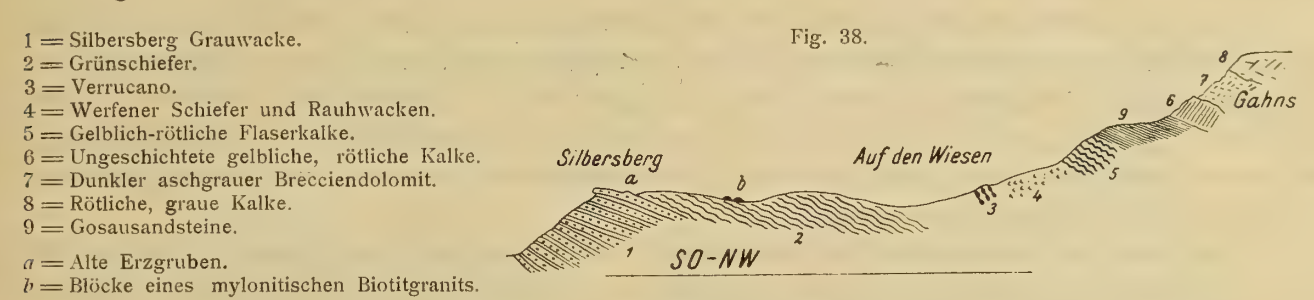
Weiter westwärts wird dann die Schichtfolge unter der Gosau wieder viel reichhaltiger bis wir die schon früher besprochenen Profile in der Gegend des Geyersteins bei Payerbach erreichen Es spielen dabei aber zwei verschiedene Vorgänge mit. Einerseits haben wir an der Unterseite unserer Serie sicherlich tektonische Abschrägungen, anderseits an der Oberseite derselben Serie den Zuschnitt der vorgosauischen Erosion.

Nur so sind diese zweiseitigen Abschrägungen zu verstehen.

Überblickt man nun die hier vorgelegten Querschnitte durch unseren Kalkalpensüdrand, so läßt sich wohl unschwer der nachgosauische Anteil der Tektonik von dem vorgosauischen unterscheiden.

Die Vermischung der Werfener Schichten mit zahlreichen Schollen älterer Gesteine kann man gewiß nicht als Werk der nachgosauischen Bewegungen hinstellen. Wo immer auch die Gosauschichten mit den Werfener Schichten in Berührung kommen, sie sind nirgends in diese Aufbereitungsmechanik einbezogen.

Fig. 38.



Wir haben des weiteren gesehen, wie im Gebiet des Florianikogls die Werfener Schichten mit einer besonders reichhaltigen Schollenmischung unmittelbar von der oberen Triasserie überschoben werden. Hier fehlt die sonst darüberliegende untere Triasserie, wobei es am wahrscheinlichsten ist, daß diese Decke über dem Florianikogl durch die vorgosauische Erosion entfernt wurde.

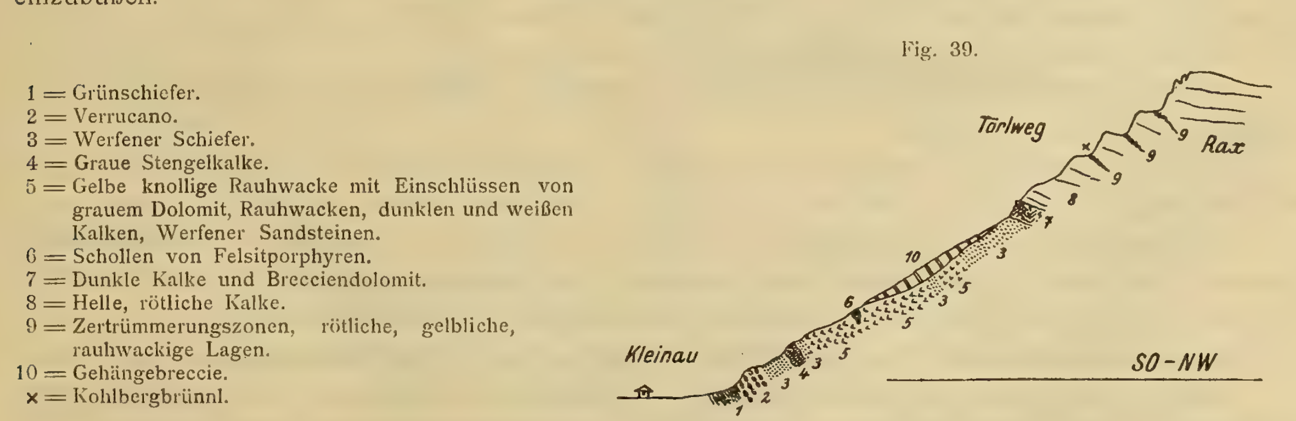
Auch die südlich anstoßende Grauwackenzone ist ebenfalls mit fremden Elementen vermischt. Ich verweise hier nur auf die Profile Fig. 32, 34. Die ausgiebigste Einschaltung sind hier wohl die steilstehenden Amphibolite und Muskowitgneiße mit Quarzdioritapliten, welche zwischen Bürg und Vöstenhofen im Saugraben gut erschlossen sind. Sie werden im Norden von Grünschiefern, im Süden von verrucanoartigen Quarzserizitschiefern begrenzt.

In diesen Quarzserizitschiefern des Gfiederrückens stecken dann wieder Schollen von Quarzporphyr und Zoisitamphibolit, der auf Speckstein und Asbest abgebaut wurde.

Die Gosauvorkommnisse habe ich nur bis in die Engschlucht verfolgen können. An den Abhängen des Feuchterberges habe ich bisher nichts mehr davon entdecken können.

Aber auch am Südhang der Rax habe ich keine Gosau getroffen. Ich füge aber trotzdem hier gleich einige Raxprofile ein, um den Zusammenhang und die Vollständigkeit der Darstellung nicht einzubüßen.

Fig. 39.



Steigt man also etwa von Edlach über den Knappenhof und dann den Törlweg zum Plateau der Rax empor, so trifft man etwa die folgenden Verhältnisse, Fig. 39.

Über Quarzgrauwacken legen sich grüne Porphyre, dann Grünschiefer, Chloritschiefer, neuerlich grüne Porphyre, grauer Phyllit.

Oberhalb von Knappenhof streicht dann der mächtige erzführende Verrucanozug durch.

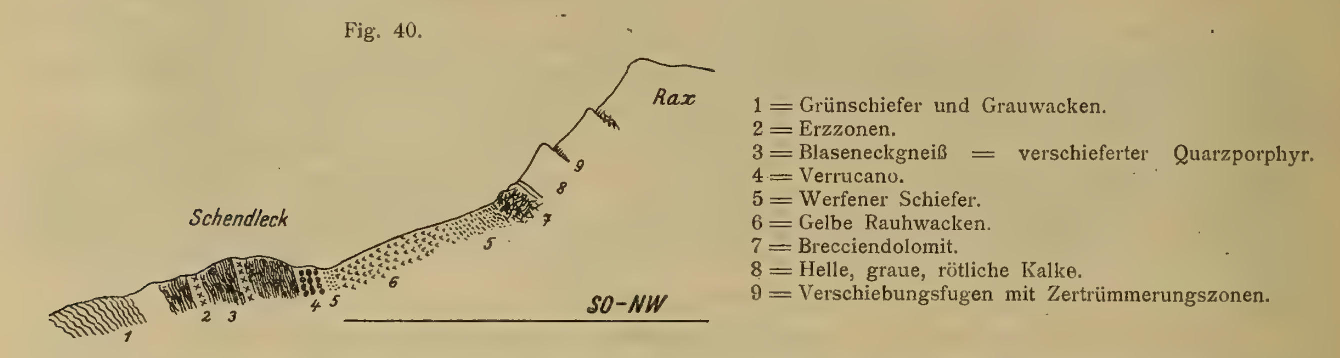
Über diesem ordnen sich nun rote, grüne, gelbe Werfener Schichten, Kiel und Stengelkalke, gelbliche Werfener Schichten und eine große Masse von Rauhwacken ein. Die Kalke des Sängerkogls stoßen unmittelbar an diese Rauhwacken.

Rückt man nun den weiteren Profilschnitt etwas gegen Westen, wo die Einschaltung der Scholle des Sängerkogls fehlt, so gewinnt dieser Rauhwackenzug sehr an Mächtigkeit. Zugleich schließt er hier Schollen von grünen, roten, violetten Felsitporphyren ein, deren Auftreten bereits Kober vermeldet hat.

Es bleibt dabei merkwürdig, daß die in der Grauwackenzone häufigen Porphyre zumeist stark verschiefert und so umgewandelt sind, daß sie seinerzeit von Vacek ganz im allgemeinen als „Blasseneckgneiße“ beschrieben werden konnten. Dagegen sind die Porphyre der exotischen Schollen und der exotischen Gerölle bei weitem weniger tektonisch beansprucht, ja oft ganz unversehrt. Blasseneckgneiße hinwieder fehlen in dieser ganzen exotischen Schollen- und Geröllgesellschaft, wenigstens soweit sie mir bekannt wurde.

Wer daher die letzteren aus den Porphyrlagern der nordalpinen Grauwackenzone ableiten will, ist zu der Annahme gezwungen, daß diese Schollen der Grauwackenzone vor ihrer heutigen gewaltigen Durchbewegung und Verschieferung entnommen worden sind.

Fig. 40.



1 = Grünschiefer und Grauwacken.
2 = Erzzonen.
3 = Blaseneckgneiß = verschieferter Quarzporphyr.
4 = Verrucano.
5 = Werfener Schiefer.
6 = Gelbe Rauhwacken.
7 = Brecciendolomit.
8 = Helle, graue, rötliche Kalke.
9 = Verschiebungsfugen mit Zertrümmerungszonen.

Über unserer großen Rauhwackenzone folgt dann ein Wechsel von Werfener Schichten mit Rauhwackenlagen, dann reine bunte Werfener Schichten. Über diesen liegt die Trias der Rax.

Sie besteht hier aus einer schmalen Zone von Dolomiten und dunklem Kalk, im übrigen aber aus hellen Kalkmassen.

In diese Kalkmassen sind mehrere Zertrümmerungszonen eingeschaltet, deren rötliche, gelbliche, rauhwackige Gesteine leichter verwittern und so kleine Absätze schaffen.

Auf dem untersten derselben entspringt das Kohlbergbrünnl.

Von den oberen Kalkmassen erstreckt sich eine ziemlich ausgedehnte Gehängebreccie fast bis zu den Porphyrschollen herunter.

Auf dem östlich nahen Kamm des Schendlecks beobachten wir noch im wesentlichen dasselbe Profil, Fig. 40.

Die Einschaltungen der Blasseneckgneisse mit den Erzlagerstätten sind hier aber viel mächtiger geworden. Der Verrucanozug ist deutlich zu erkennen. Über demselben ist aber nur noch ein dünner Streif von Werfener Schichten zu spüren, dafür sehr viel gelbe knollige Rauhwacke.

Eine neuerliche stärkere Zone von Werfener Schichten trennt diese Rauhwacke von der Raxtrias.

Weiter gegen Westen verschwinden dann die mittleren Aufschlüsse unter einer riesigen Schuttverkleidung. Es steht dies wohl damit in Verbindung, daß im mittleren Raxabschnitt die festen Kalke verschwinden und von viel brüchigeren Dolomitmassen ersetzt werden.

Erst der Kamm, welcher die hübsche Peilsteinerhütte trägt, gestattet wieder die Einsicht in ein geschlossenes Profil, Fig. 41.

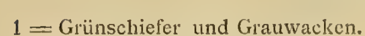
Wir sehen mächtige flach nordfallende Grauwackenmassen, die gegen oben in deutliche grüne und grünlich graue Porphyr- und Tufflagen übergehen.

An dem ganz versumpften Sattel hinter der Peilsteinerhütte dürften wohl Werfener Schichten zum Ausstrich kommen.

Etwas oberhalb ragt eine Wand von dunklem, weiß- bis rotadrigem Kalk, dann heller, rötlich geaderter Kalk hervor. Darüber folgen bis zum Plateaurand dunkle und hellere graue Brecciendolomite. Kober hat die unterste Wand als Vertretung der Hallstätterdecke erklärt. Ich halte diese Kalke für Angehörige der unteren Trias der Rax.

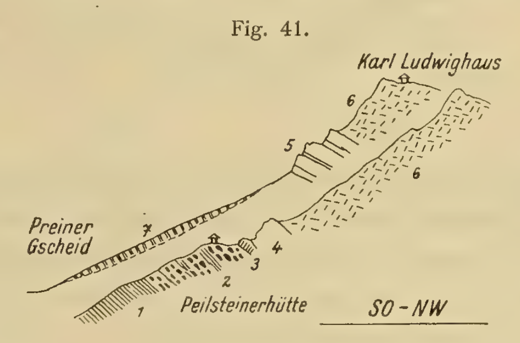
Das westlich benachbarte Profil vom Preiner Gscheid zum Karl Ludwig-Haus ist durch das Zugreifen einer sehr ausgedehnten Gehängebreccie nur sehr unvollständig ersichtlich.

Wir haben am Preiner Gscheid rote, grüne, violette Schiefer mit Verrucano in nordfälliger Lage



1 = Grünschiefer und Grauwacken.
2 = Quarzporphyre und Tuffe.
3 = Dunkler Kalk.
4 = Heller, rotadriger Kalk.
5 = Dunkelgraue wohlgeschichtete Kalke.
6 = Dunkler und hellerer Brecciendolomit.
7 = Gehängebreccie.

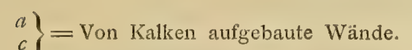
Fig. 41.



Dann schauen noch manchmal grüne Schiefer hervor, alles andere ist bis zu den hohen Wänden hinauf von der Gehängebreccie verdeckt, deren Größe erst die Schlingen der neuen Straße enthüllt haben. Es ist genau dieselbe Bildung wie drüben am Törlweg.

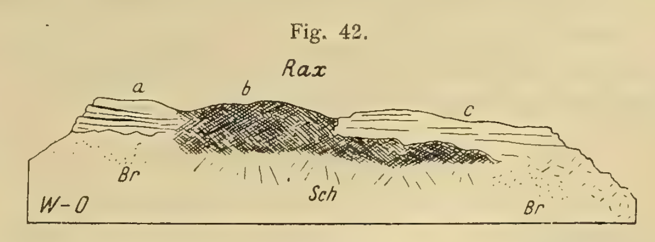
Wir finden also am ganzen Südhang der Rax eine bedeutende Gehängeverschüttung. Wo in der Höhe die Kalke vorherrschen, haben wir die Schutthalden zu Gehängebreccien verkalkt, wo der Dolomit herrschend wird, sind sie unverbunden geblieben, Fig. 42.

Man wird wohl nicht weit fehlen, wenn man diese Gehängebreccien, welche auch am Ostabfall des Schneebergs sehr mächtig entwickelt sind, ähnlich wie die Höttingerbreccie als Anzeichen der großen interglazielen Alpenverschüttung auffaßt. Die Triasserie der Rax selbst ist hier etwas verändert, indem eine mächtige Folge von geschichteten dunkleren Kalken den Brecciendolomit unterlagert, auf dem sich das vielbesuchte Karl Ludwig-Haus befindet.



a, *c* = Von Kalken aufgebaute Wände.
b = Von Brecciendolomit aufgebaute Wände.
Br = Gehängebreccien.
Sch = Schutthalden.

Fig. 42.



Neuen Verhältnissen begegnen wir aber, wenn wir von der Südseite auf die Westseite der Rax hinüberbiegen.

Die Decke der Raxtrias nimmt auf der Strecke von der Südseite zur Westseite der Heukuppe in den unteren Kalken eine Reihe von dünnschichtigen Kalkmergelzonen auf.

Unter der Heukuppe sind drei stärkere Zonen von solchen grünlichen, grauen, dünnschiefrigen Gesteinen vorhanden, die unter dem Gamseck wieder auskeilen.

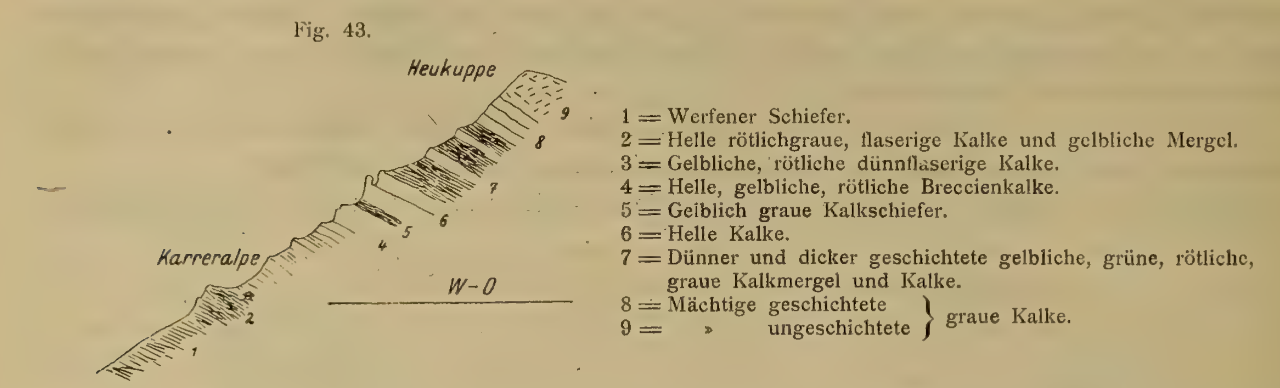
Das Profil Fig. 43 von der Karreralpe zur Heukuppe schneidet diese auffallend reich gegliederte Trias.

Bei der Karreralpe finden wir auch über den Werfener Schichten, welche gegen das Altenurgertal eine bedeutende Mächtigkeit innehaben, flaserige, graue, gelbe, rötliche Kalke wieder.

In den dünnschichtigen und daher leichter bewegbaren Triasmassen der Westseite der Heukuppe treten nun sehr lebhafte Bewegungsformen auf, welche Fig. 44 schematisch nachbildet.

Da der Anschnitt dieser Wand etwa von SO → NW verläuft, lassen sich dieselben mit den ostwestlichen Verschiebungen in Zusammenhang bringen, für deren Auftreten wir gleich noch viel deutlichere Zeugschaft erhalten werden.

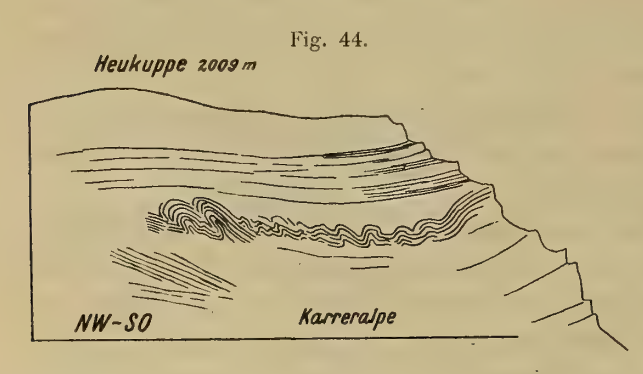
Fig. 43.



Wenig nördlich von der Schulter der Karreralpe tritt eine Gratrippe hervor, die bereits eine leichte Niederbiegung der Trias gegen Westen anzeigt.

Die nächsten Strebepfeiler aber bringen, wie die Zusammenstellung von Fig. 45 lehrt, diese Verbiegung schon viel kräftiger zum Ausdruck, bis dieselbe in dem weit vorspringenden Kamm des Hohen Gupfs ihren Höhepunkt erreicht.

Fig. 44.



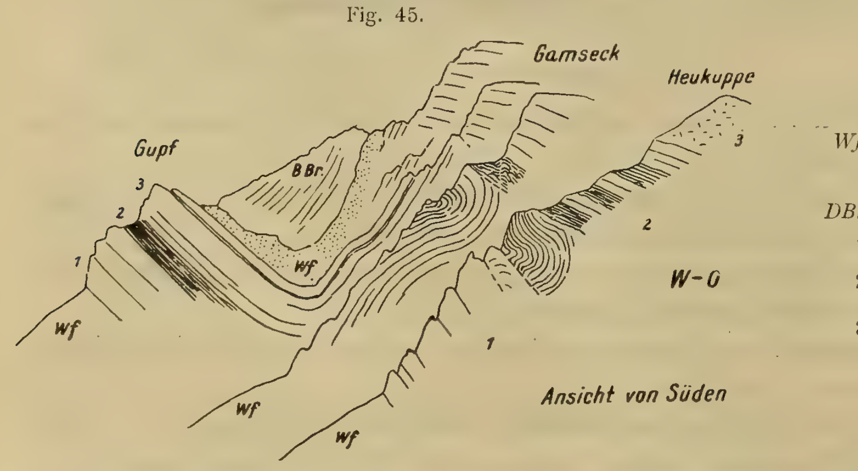
Hier ist nun diese tiefe Einfaltung mit einem Kern aus Werfener Schichten und dunklem Breccien dolomit gefüllt.

Geyer hat. wie Fig. 46 angibt, schon vor langer Zeit dieses wichtige Profil im wesentlichen richtig erschaut, wenn auch als eine lokale Auffassung dann falsch gedeutet.

Wie Kober hier von einem Ausstreichen der Hallstätterdecke unter der hochalpinen Decke reden kann, ist mir vollkommen unverständlich geblieben. Dieses schöne Profil gibt uns auch die Möglichkeit, die Tektonik der Rax mit jener der Schneealpe zu verbinden.

Ich lege zu diesem Behufe einmal eine tektonische Ansicht der Schneealpe vom Gamseck sowie ein Profil Altenbergertal-Schneealpe vor. Fig. 47, 48.

Fig. 45.



Wf = Werfener Schiefer. In der Gupfmulde mit Rauhwacken und Brecciendolomit vermischt.
DBr = Brecciendolomit.
1 = Brecciendolomit, dunkle Kalke, helle dickbankige Kalke.
2 = Dünnschichtige Kalke, Mergel und Kalkschiefer.
3 = Lichte, rötliche, gelbliche, wohlgeschichtete Kalke.

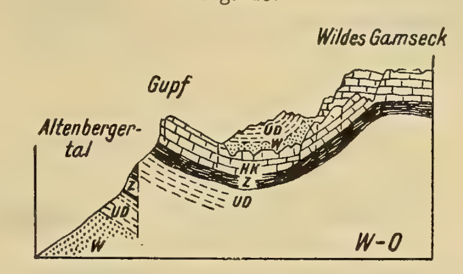
Die nach einer Photographie von Hans Rohn vervollständigte Zeichnung gestattet unzweideutig die doppelte Struktur der Schneealpe zu erkennen.

Halten wir dieses Bild mit dem Querprofil zusammen, so geht daraus unmittelbar hervor, daß unser höherer Deckenrest, der in der Hand der Gupfmasse ruht, und die obere Schubmasse der Schneealpe zueinander gehören.

Während aber im Raxgebiet die untere Schubmasse fast allein herrschend ist, tritt sie im Aufbau der Schneealpe zurück und die höhere Decke übernimmt ihre Führung.

Fig. 46.

W = Werfener Schiefer.
UD = Unterer Dolomit.
Z = Zlambachschichten.
HK = Wetterstein- oder Hallstätterkalk.



Leider war es mir bisher nicht vergönnt, meine Aufnahmen im Gebiet der Schneealpe zu vollenden.

Wie die folgende Fig. 49 zu beobachten gibt, schrägt die Triasmulde des Hohen Gupfs rasch gegen Norden zu aus und am Naßkamm stößt die obere Decke bereits unmittelbar auf die unteren Werfener Schichten.

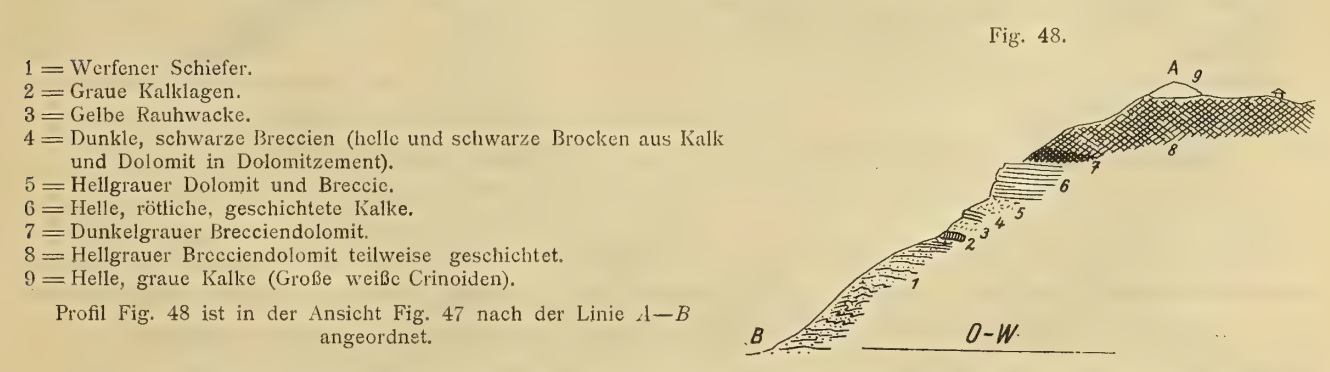
Fig. 47.

Schneealpe
Ameisbühel
A
S-N
Altenbergertal
B
Naßkamm

Überschreitet man den ganz in Werfener Schichten eingeschnittenen Sattel des Naßkamms, so trifft man im Bereiche des Reißtales wieder großartige Aufschlüsse für die Ostwestschübe an.

Blickt man etwa von der Höhe der Scheibwaldmauer gegen die Kahlmäuer im Hintergrund des Reißtales, so tritt die Niederbeugung der Raxtrias auffallend genug hervor.

Fig. 48.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Graue Kalklagen.
3 = Gelbe Rauhwacke.
4 = Dunkle, schwarze Breccien (helle und schwarze Brocken aus Kalk und Dolomit in Dolomitzement).
5 = Hellgrauer Dolomit und Breccie.
6 = Helle, rötliche, geschichtete Kalke.
7 = Dunkelgrauer Brecciendolomit.
8 = Hellgrauer Brecciendolomit teilweise geschichtet.
9 = Helle, graue Kalke (Große weiße Crinoiden).

Profil Fig. 48 ist in der Ansicht Fig. 47 nach der Linie *A—B* angeordnet.

Die Trennung der liegenden und hangenden Werfener Schichten an der Nordseite des Rauhen Berges ist wegen der starken Bewaldung kaum durchzuführen. In der Schlucht zwischen Gamseck und Rauhen Berg ist sie aber wieder deutlich.

Der schräge Anstieg der »Wildfährte« aber folgt auf eine längere Strecke, Fig. 50, der kleinen Überschiebung, welche entlang der scharfen Abbiegung der Raxtrias eingerissen ist.

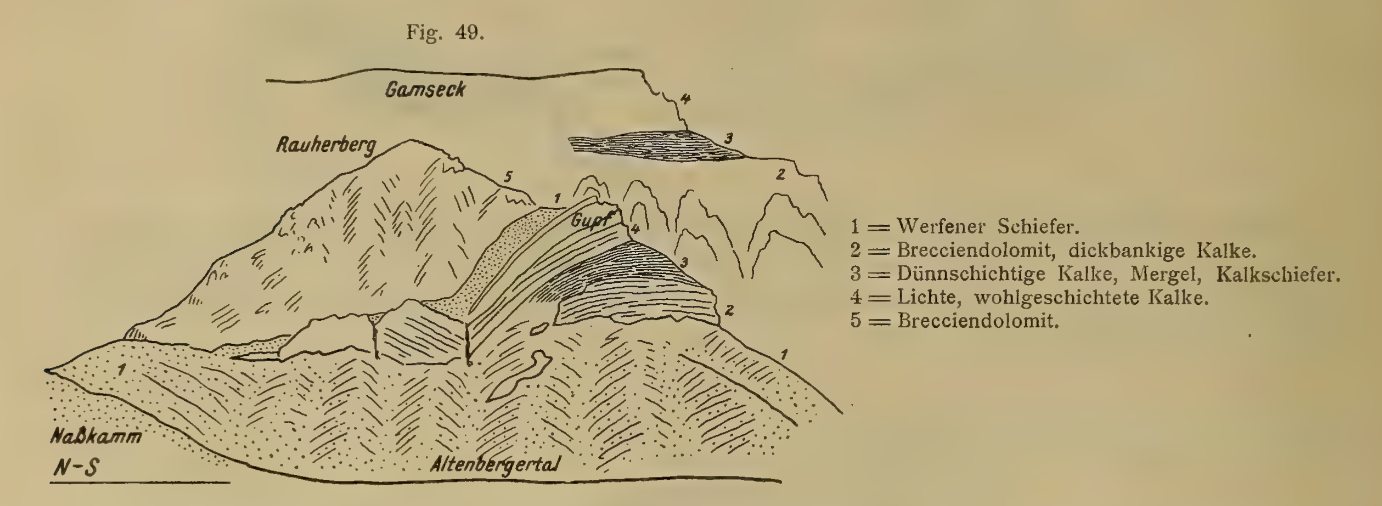
Aber auch noch am Abfall der Scheibwaldmauern kommt dieselbe Erscheinung zum Ausdruck.

Das hier gewinnbare Profil, Fig. 51, führt von den liegenden Werfener Schichten über mächtige Massen von dunklem Brecciendolomit zu der klaren, schönen Kalkstirne der Scheibwaldmauern empor.

Diese Kalkstirne ist mit einer flachen Überschiebung, welche in großen Höhlen gut erschlossen ist, auf den Dolomit geschoben.

An dieser Schubbahn tritt aber auch ein schmaler Saum von roten, grünen Quarzsandsteinen der Werfener Schichten hervor. Sehr merkwürdig ist des weiteren dann die Auflagerung einer großen

Fig. 49.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Brecciendolomit, dickbankige Kalke.
3 = Dünnschichtige Kalke, Mergel, Kalkschiefer.
4 = Lichte, wohlgeschichtete Kalke.
5 = Brecciendolomit.

Masse von schwarzen Tonschiefern und dunklen Kalken, die wir mit Geyer wohl den Raibler Schichten zuweisen müssen. Ihre Lagerung ist nicht klar zu sehen.

Mit der hier vorgetragenen tektonischen Lösung der Verhältnisses von Rax und Schneealpe ist die von Kober gegebene nicht zu vereinigen.

Fig. 50. Fig. 51.



Fig. 50: 1 = Werfener Schiefer.
2 = Brecciendolomit, großenteils geschichtet.
3 = Wohlgeschichtete helle, graue Kalke.

Fig. 51: 1 = Werfener Schiefer.
2 = Dunkelgrauer Brecciendolomit.
3 = Schwarze Tonschiefer und Kalke.
4 = Helle, rötlich durchaderte Kalke.

Nach ihm liegen Rax und Schneealpe als Inseln der hochalpinen Decke auf der darunter zusammenhängend durchstreichenden Hallstätterdecke. Das bedeutet für die Strecke zwischen Rax und Schneealpe die Gleichstellung von Gupfmulde und Kern mit der unteren Schubmasse der Schneealpe.

Nun kann man doch nicht zwei Schubmassen einer einzelnen ohne weiteres gleichsetzen.

Will man aber etwa den Versuch machen, nur die Gupfmulde als Hallstätterdecke, den Kern aber als hochalpine Decke hinzustellen, so scheitert man wieder an den benachbarten Aufschlüssen der Westabstürze der Rax.

Vergleicht man zu diesem Zwecke Fig. 52 mit dem Schema Fig. 53, welches diese Auslegung vorführt, so erkennt man gleich, daß ein solcher Doppelbau, wie er hier nötig wäre, für die Rax nicht besteht. Das ist an den Westabstürzen der Rax klar zu sehen.

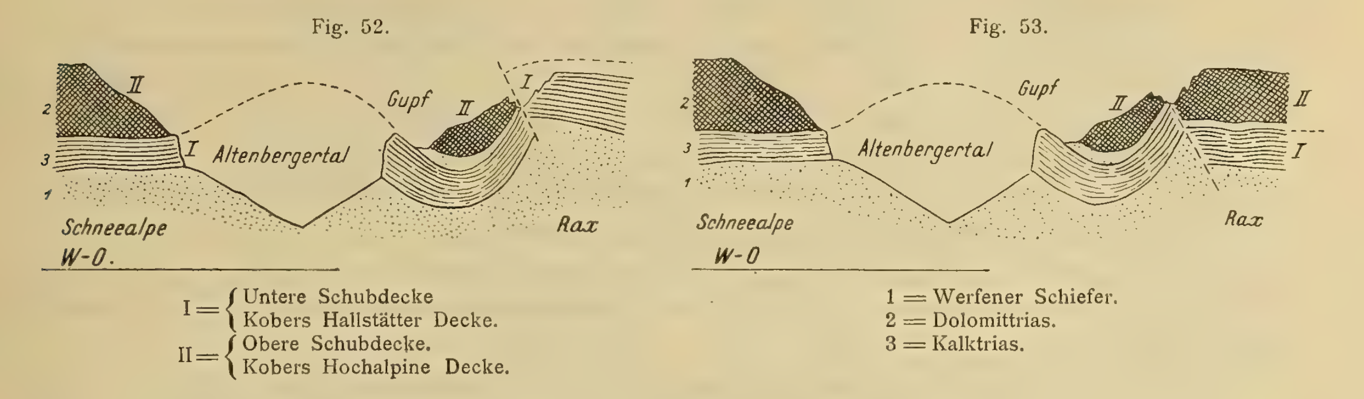


Fig. 52. Fig. 53.

Hier streicht nur eine Triasdecke aus, dieselbe, welche zur Gupfmulde niedergebogen ist und hier einen Rest einer höheren Schubmasse in der Hand behalten hat.

II. Der mittlere Gosauzug.

Der mittlere Gosauzug enthält nicht nur die weitaus größte Masse von Sedimenten, sondern hat dieselben auch dank einer sehr tiefen Einfaltung im geschlossenen Felde zu bewahren vermocht.

Über seine Schichtfolge und Fossilführung sind wir verhältnismäßig gründlich unterrichtet, obwohl die Aufsammlungen und Erfahrungen der neueren Zeit noch nicht genauer bearbeitet sind.

Für meine Fragestellungen hat dieser große Gosauzug vielleicht von allen die wenigsten Beiträge geliefert.

Exotische Gerölle sind nur in der Gegend von Dreistätten reichlicher vorhanden, exotische Schollen habe ich, wenn ich die Gosau von Bruck schon zum nördlichen Gosaubereich rechne, gar keine entdeckt.

Es mag dies eben daher kommen, daß die Abtragung der Gosauschichten hier noch nicht so weit gelangt ist, um den Untergrund der Werfener Schichten mit ihrem Schollenbesitz zu enthüllen.

Bittner hat in seiner berühmten Hernsteinerarbeit eine Reihe von guten Profilen für diese Gosaumulde gegeben.

Es ist da von meiner Seite nicht viel hinzuzufügen. Das reiche Vorkommen von exotischen Geröllen auch großer Kaliber in der Gegend südöstlich von Dreistätten habe ich schon erwähnt.

Aber auch nordwestlich von dieser Ortschaft ziehen sich Konglomerate mit solchen Einschlüssen bis auf die Höhen der hier absinkenden Hohen Wand empor.

Die Ansicht Fig. 54 veranschaulicht die Lage der Gosau am Ostende der Hohen Wand.

Dieselbe verklebt hier die offenkundige Aufschiebung der Wandkalke auf die voralpine Decke, welche etwas nördlicher im Brand klar zu sehen ist, weil dort die Gosauschichten nicht mehr dazwischen treten.

Auch hier muß diese Grundüberschiebung natürlich älter als die Gosau sein.

Die Gosaukonglomerate reichen am Abhang gegen die Herrgottschnitzerhütte auch heute noch ziemlich hoch empor. Das oberste Anstehende bilden da rote Kalke und Kalkbreccien mit Rudisten.

In den hier durchwegs feinkörnigen Konglomeraten liegen die glänzend polierten runden Geröllchen wie Kaffeebohnen drinnen. Es sind feinzugeschliffene weiße und rote Kiesel, weiße, graue, schwarze Hornsteine, rote, gelbe, graue Buntsandsteingerölle, vielerlei Kalkgerölle sowie seltener blaßrötliche und schwärzliche Felsitporphyre.

Interessant ist, daß also in der Gegend von Dreistätten nicht nur die an fremden Geröllen reichste Gosau unserer Zone vorkommt, sondern dieselbe im Norden auf die Hohe Wand, im Süden auf das Plateau des Mahlleitenbergs transgressiv übergreift.

Dabei vergröbern sich die exotischen Gerölle auffallend in der Richtung gegen SO zu.

Bei der Abfassung des Vorberichtes war mir diese Beobachtung noch unbekannt gewesen.

Eine ziemlich schwierige Frage ist die nach dem Verhältnis von Gosau und Hoher Wand.

Das Untertauchen der Gosau unter die Trias der Hohen Wand war ja auch den älteren Geologen schon wohl bekannt.

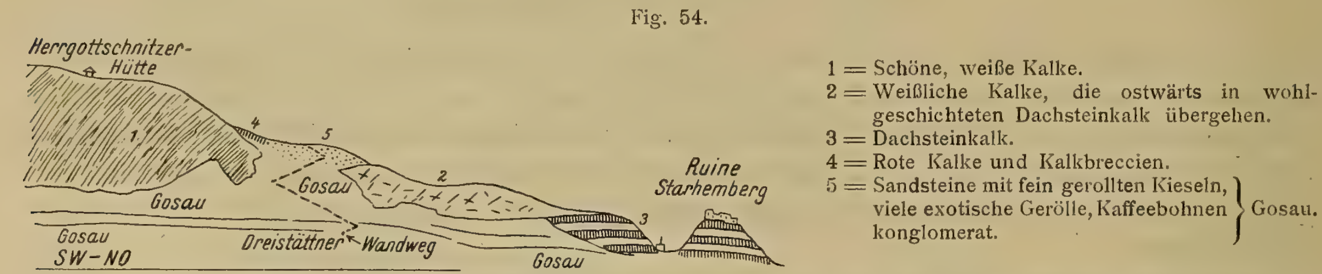
Damit ist aber dieses Problem noch lange nicht erschöpft. Ich habe schon in der Einleitung gezeigt, wie sehr mein Standpunkt von dem Kobers verschieden ist.

Bittner hat sich bei der Annahme einer knieförmigen Abbiegung der Trias an der Südostseite der Hohen Wand nicht völlig sicher gefühlt, weil eben die seltene Schichtung dazu keine ausreichenden Anhalte gewährt.

Es ergeben sich aber bei genauerem Zusehen noch weitere Bedenken.

Von vornherein ist eine solche Abbiegung einer im wesentlichen ungeschichteten dicken Kalktafel mechanisch unmöglich. Das wäre nur bei guter Schichtung zu erreichen. Zur Biegung einer so dicken ungeschichteten Platte wäre eine hier kaum mögliche enorme Überlastung erforderlich gewesen, da sonst sicherlich nur eine Zerbrechung eingetreten wäre.

Fig. 54.



Die rhombische Tafel der Hohen Wand ist an drei Seiten von Gosau belagert. Diese drei Seiten sind aber durchaus nicht als tektonisch gleichwertig anzusehen.

Davon ist die ostwestlich verlaufende Kante vom Klaussattel bis zum Eck der Hohen Kanzel unbedingt eine alte vorgosauische Erosionslinie, wie man aus dem queren Anschnitt der hier frei ausstreichenden Schichtfolgen erkennt.

Von der hohen Kanzel bis zum Schneckengartl ob Dreistätten verläuft der Wandabbruch von SW—NO. Er verbleibt dabei durchaus in denselben lichten Kalkmassen.

Mit ihm parallel verläuft der nordwestliche Rand vom Klaussattel etwa bis zur Bockleiten. Diesem Rand sind zahlreiche Klippen vorgelagert.

Der nördliche Rand von der Bockleiten zum Schneckengartl hat wieder ostwestlichen Verlauf und schrägen Schichtenanschnitt.

Wir ersehen daraus einmal, daß die tektonische Ordnung der Schichten der Hohen Wand einer von SW → NO gerichteten Achse folgt. Diese Anordnung kann ebenfalls älter als die Gosau sein.

Es ist aber auch denkbar, daß hier eine Verdrehung der Hohen Wand aus der O-W- in die SW-NO-Richtung erst bei den ostwestlichen Verschiebungen erfolgt ist.

Der Zuschnitt unseres Triasrhombus aber muß unbedingt vorgosauisch geschehen sein.

Wenn aber ein so tiefer Zuschnitt der Gosau vorausgegangen ist, daß dabei die Triastafel bis zu den Werfener Schichten durchsägt wurde, so ist die Bildung einer Kniefalte im Sinne von Bittner-Kober ein sehr unwahrscheinlicher Vorgang.

Es wäre das was anderes, wenn die Gosau vielleicht ursprünglich sich über eine ebene Triasdecke flach ausgebreitet hätte und später dann mit dieser zusammen gefaltet worden wäre. Dann hätte allerdings die von Bittner-Kober angegebene Kniefalte sehr wohl entstehen können.

Wenn aber vor der Gosau bereits aus der Triasdecke ein freier Rhombus herausgeschnitten war, so kann man diesen nicht mehr so einspannen, um eine so scharfe Abbiegung zu erzielen.

Ich schließe daher, daß die Wandkalke nicht in dieser Weise abgebogen sind.

Die Gosau legte sich bei ihrer Sedimentation nicht auf die flachen Trias-Juraschichten, sondern brandete vielmehr an einem Steilufer. Wahrscheinlich hat sie nie die ganze Hohe Wand einheitlich überflutet.

Die überkippten Schichtflächen an der Südostseite der Hohen Wand, von denen schon öfter die Rede war, dürften wohl zum großen Teil mehr minder parallelgestellte Schubflächen sein.

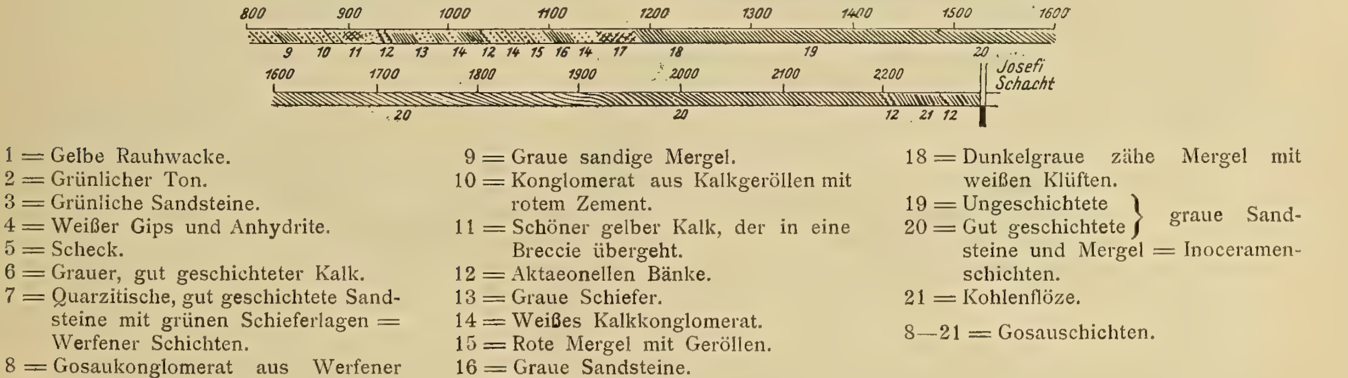
Die Gosaumulde der Neuen Welt ist gleichlaufend mit der Front der Hohen Wand gebogen, macht also ebenfalls im Bereiche der Hohen Kanzel eine starke Schwenkung im Streichen.

Dazu verschmälert sich die Mulde, die in der Neuen Welt wohl gegen 4 *km* breit ist, in der Gegend von Zweiersdorf auf etwa die Hälfte dieser Erstreckung.

Diese scharfe Verschmälerung fällt gerade mit dem früher erwähnten Umbug an der Hohen Kanzel zusammen und dürfte wohl auch damit in Beziehung stehen.

Das Profil des Erbstollens von Unter-Höflein ist in Fig. 6 schon in der Einleitung in Umrissen geschildert worden.

Fig. 55.



1 = Gelbe Rauhwacke.
2 = Grünlicher Ton.
3 = Grünliche Sandsteine.
4 = Weißer Gips und Anhydrite.
5 = Scheck.
6 = Grauer, gut geschichteter Kalk.
7 = Quarzitische, gut geschichtete Sandsteine mit grünen Schieferlagen = Werfener Schichten.
8 = Gosaukonglomerat aus Werfener Schichten mit rotem Zement.
9 = Graue sandige Mergel.
10 = Konglomerat aus Kalkgeröllen mit rotem Zement.
11 = Schöner gelber Kalk, der in eine Breccie übergeht.
12 = Aktaeonellen Bänke.
13 = Graue Schiefer.
14 = Weißes Kalkkonglomerat.
15 = Rote Mergel mit Geröllen.
16 = Graue Sandsteine.
17 = Gelblichgrauer Kalk.
18 = Dunkelgraue zähe Mergel mit weißen Klüften.
19 = Ungeschichtete } graue Sand-
20 = Gut geschichtete } steine und Mergel = Inoceramenschichten.
21 = Kohlenflöze.
8—21 = Gosauschichten.

Da es die einzige völlige Durchstoßung unserer Gosaumulde vorstellt, will ich hier noch die genaueren Angaben vorlegen, welche ich bei einer Befahrung im Spätherbst 1915 unter freundlicher Führung von Herrn Markscheider Esslmaier aufgezeichnet habe.

Wie Fig. 55 näher darlegt, beginnt der Stollen in den bekannten gelben Rauhwacken, denen erst ein schmaler Streif eines grünlichen tonigen Gesteins, dann ein breiterer von südfälligen grünen Sandsteinen einverleibt ist.

An die Rauhwacken stößt dann eine mächtige Masse von Gips mit eingeschalteten Lagen von tiefschwarzem Kalk.

Die Gipsarbeiter dieser Gegend bezeichnen solche vielfach zwischen die schön geschichteten Gipslagen eingelegte Linsen und Lagen von schwarzem Kalk als »Kalkscheck«. Diese Linsen des schwarzen Kalkes sind stets in der Schichtung stark gestreckt und zerrissen. Die Zwischenräume aber sind mit weißem Gips (Alabastergips) verheilt.

Es wird auch »Gipsscheck« unterschieden, das heißt Linsen und Trümmer von schwärzlichem Gips, die wieder mit weißem ausgeheilt sind.

In der Gipszone unseres Stollens verschwindet der Grubenbach in einer tiefen Höhle.

An die steilgestellten Gipslagen stoßen die anfangs ganz flachen Sandsteine der Werfener Schichten, die dann wellig hinunterbiegen. Wie ich schon in der Einleitung erwähnte, legt sich unmittelbar auf die Werfener Schichten rotzementiertes, dann graues Gosaukonglomerat.

In die Konglomeratmasse ist hier eine Klippe von schönem, gelbem Kalk eingebettet. An der Nordseite löst sich dieser Kalk in eine Breccie auf, welche in gelblicher Grundmasse auch weiße und graue Kalkstücke enthält.

Es folgt nun eine mächtige Gosauserie vorwiegend in ermüdend gleichartigen Inoceramenmergeln und Sandsteinen. Auf eine lange Strecke habe ich keine Schichtung bemerkt, wohl aber zahlreiche weißverheilte Sprünge. Der Kern der Mulde wird nur sehr ungenau durch flachere Schichtstellung angezeigt, ohne daß dabei das beinahe ausschließliche Fallen gegen N sich wendet.

Die Kohlenflöze sind erst verhältnismäsig nahe an der Hohen Wand eingeschaltet und setzen steil in eine noch nicht erschlossene Tiefe.

Der Segen Gottes-Schacht war zur Zeit meines Besuches zirka 350 *m* tief niedergebracht, ohne die Umbiegung der Flöze zu erreichen.

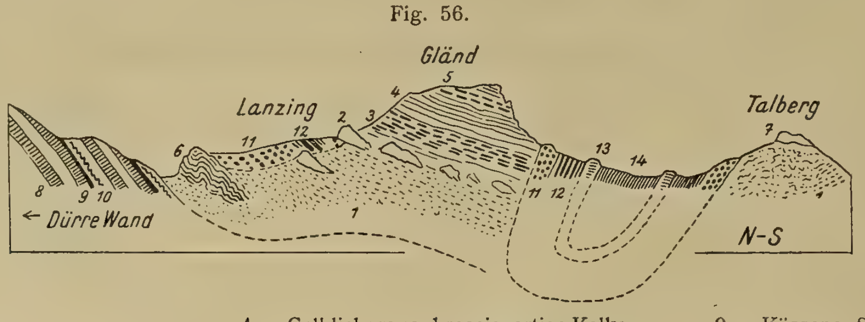
Es hat den Anschein, daß man hier mit größten Muldentiefen, vielleicht von 800—1000 *m* rechnen kann, also Tiefen, die 500—700 *m* unter die nahe Ebene von Wiener-Neustadt hinabgreifen.

Legt man diese hypothetische Tiefe der weiteren Betrachtung unter, so ist man erstaunt, dieselben Kohlenflöze im Westen am Sattel von Klaus in kaum 2 *km* Entfernung zutage ausstreichen zu sehen.

Das würde ein ostwestliches Gefälle des Muldenbodens von zirka 30° ergeben, was auch wieder nur bei Zuhilfenahme von ostwestlichen Verbiegungen zu verstehen ist.

Westlich von Grünbach ist die Gosaumulde zwischen Gländ und Talberg noch als tiefe Einfaltung, Fig. 56, zu beobachten.

Fig. 56.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Klippenreihe aus schneeweißen Kalken.
3 = Graue, ziemlich dünnschichtige Kalke mit rundlichen grauen Hornsteinen. Die grauen Kalke gehen in rote, gelbe, fleischfarbene Kalke über.
4 = Gelblichgraue, breccienartige Kalke.
5 = Helle, gelbliche, fleischrote Kalke mit grauen Hornsteinen. Ähnlichkeit mit 3.
6 = Wohlgeschichtete graue Kalke.
7 = Schneeweiße Kalke.
8 = Dachsteinkalk.
9 = Kössener Schichten.
10 = Lias-Jura.
11 = Rote Gosaukonglomerate.
12 = Gosaumergel mit Kohlenflözen.
13 = Orbitolitensandsteine.
14 = Inoceramenmergel.

Nördlich des Klaussattels spitzen dann die Kohlenflötze der Mulde in die Luft heraus und die streckenweise sehr groben roten Konglomeratmassen setzen sich in die Mulde von Ratzenberg fort, wo sie neuerlich eine Mulde von Mergeln und Sandsteinen mit schwachen Flötzen beherbergen.

Die groben, grellrot gefärbten Gosaukonglomerate des Klaussattels sind durch den Einschnitt der Eisenbahn trefflich aufgeschlossen.

Wir sehen da einen vielfachen Wechsel von roten Lettenbänken mit roten Konglomeratzonen, die fast ausschließlich aus lokalem Mateiial, Kalken und Werfener Schichten, gebildet wurden.

Auffallend ist die Einschaltung von Kalkblöcken bis zu 1 m^3 Größe.

Ein Querschnitt durch die Mulde von Ratzenberg gegen Pfennigbach und Bruck, Fig. 57, bietet gleichzeitig die Verbindung unserer Mulde mit der tiefer liegenden Gosaubucht von Bruck, welche ihrer Entwicklung und Lage nach schon besser zum nördlichen Gosauzug zu rechnen ist.

Interessant ist die Beobachtung, daß die Gosaumulde von Klaus-Ratzenberg von einer Reihe von Kalkklippen von der weiten Bucht von Oed und Pfenningwiese getrennt wird. Es ist dies ein Zug von Klippen, der von der Nordseite des Himbergs bis zur Westecke der Hohen Wand und dann weiter ins Miesenbachtal hinüberleitet.

Wir sehen aber auch zugleich, daß die Gosau diese Klippenreihe überschritten und eingefüllt hat. Es bestand also offene Verbindung zwischen den Mulden von Ratzenberg und Bruck-Puchberg.

Die Mulde von Ratzenberg lagert einem dunklen, teilweise wohlgeschichteten, meist aber ungeschichteten Dolomit auf, der für sich ebenfalls eine Mulde über den Werfener Schichten bildet und gegen das Sierningtal von helleren, wohlgeschichteten Kalken überlagert wird.

Die roten, zumeist aus Kalken zusammengesetzten Gosaukonglomerate greifen dann auch in einem kleinen Rest fast bis zum Gipfel des 946 *m* hohen Himbergs empor.

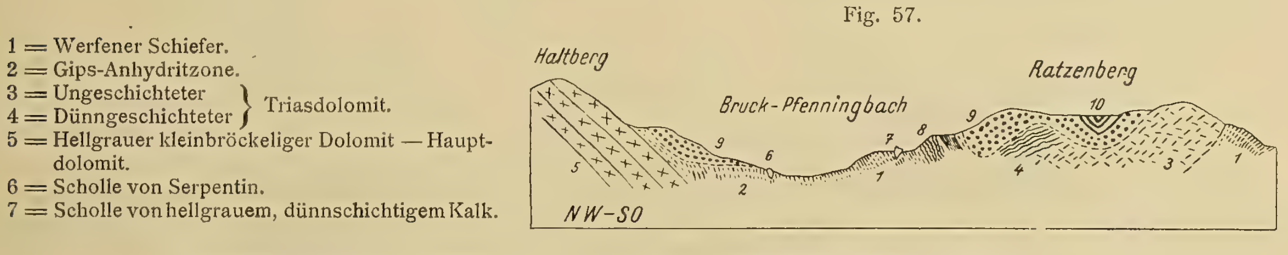
Jenseits des Sierningtales treffen wir dann unmittelbar südlich von Puchberg bis zum Gipfel des Buchbergs (845 *m*) dieselben roten Konglomerate, welche aber hier von Orbitoidensandsteinen überlagert werden.

Weiter westlich sind dann noch am Ostfuße des Schneebergs kleine, aber unzureichend aufgeschlossene Reste von Gosau zu finden.

Kehren wir wieder zu unserem letzten Querprofil, Fig. 57, zurück, so sehen wir die Gosaukonglomerate aus der Mulde von Ratzenberg in die nördlichere von Pfenningbach-Bruck hinüberschwellen.

Die hier von ihnen überschüttete Klippenreihe ist auch schon erwähnt worden.

Fig. 57.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Gips-Anhydritzone.
3 = Ungeschichteter } Triasdolomit.
4 = Dünngeschichteter } Triasdolomit.
5 = Hellgrauer kleinbröckeliger Dolomit — Hauptdolomit.
6 = Scholle von Serpentin.
7 = Scholle von hellgrauem, dünnschichtigem Kalk.
8 = Gelblichgraue dünnschichtige Kalke und graue dunkelfleckige Mergel — Jura?
9 = Rote Gosaukonglomerate.
10 = Gosaumergel und Kohlenflöze.

Diese Klippen sind zwischen dem dunklen Dolomit und den Werfener Schichten eingeschaltet und bestehen zumeist aus lichten Kalken.

Südlich von Pfenningbach aber sind hier außerdem gelblichgraue dünnschichtige Kalke sowie gelblichgrüne, oft dunklerfleckige Mergel sowie gelbliche, manchmal dünnblättrige Mergelkalke eingeschaltet, die nicht das Aussehen von Werfener Schichten besitzen.

Ich bin mir über ihr Alter nicht sicher, glaube aber, daß dieselben am ehesten in den Jura gehören. Sie erinnern an Aptychenkalke und Liasfleckenmergel.

Hat man die Werfener Zone von Pfenningbach überschritten, so tritt man bei Bruck in ein neues Gosaufeld ein.

Dieses ist nicht nur durch seinen hervorragenden Reichtum an exotischen Geröllen, durch exotische Schollen, sondern auch deshalb bemerkenswert, weil hier der langjährige, unterirdische Abbau der Gipszone die Tektonik der unter der Gosau liegenden Werfener Schichten vortrefflich erschlossen hat.

Ich bin dem Besitzer dieses Gipswerkes, Herrn Ing. Wilhelm Frey, zu herzlichem Danke verpflichtet, daß er mir eine genauere Besichtigung der mächtigen, oft hallenweiten Gipsstollen ermöglicht hat.

Wir treffen da neben den Mundlöchern der Stollen von W → O zunächst eine Scholle von dunklem, rotadrigem Triaskalk, dann eine arg zerdrückte Masse von Serpentin mit Asbest und zahlreichen Kalkadern, darauf gelbe Rauhwacken, gelbe, rote, brecciöse Kalke, eine zweite größere Serpentinmasse, die wieder von gelben Kalken und Rauhwacken begleitet ist.

Abgesehen von der hier weit stärkeren Zertrümmerung und Zersetzung des Serpentins, erinnert die Zusammenschaltung mit gelben Kalken und Rauhwacken wohl sehr an die Serpentine der Höfleiner Gegend.

Nachdem die Stollen diese Rauhwackenzone durchfahren haben, kommen sie in den Bereich einer mächtigen Gipszone.

Wie das beiliegende Profil, Fig. 58, zeigt, ist dieselbe bei ostwestlichem Streichen von seigerem Fallen beherrscht.

Wir haben eine Zone von weißem und eine von schwarzem Gips zu unterscheiden, die durch einen Streifen von schwarzem Ton und Kalk getrennt wird.

Hinter der Gipszone scheint eine Anhydritzone eingeschaltet zu sein.

Ebenso wie im Erbstollen sehen wir auch hier in dem sogenannten Kalkschek die eingefügten Lagen von tiefschwarzen Kalken in großartiger Weise im Streichen gestreckt und zerrissen.

Hier enthüllen bei guter Beleuchtung die weiten Wölbungen der Stollen viele Streckungsbilder von ausgezeichneter Schönheit.

Mit verhältnismäßig ruhiger Grundfläche breiten sich die düsterroten Konglomerate von Eichberg über dieser Gipszone aus. Die Gipszone und die Gosau werden von einem Streifen von Rauhwacken und vielleicht auch Werfener Schichten von dem südfallenden Hauptdolomit des Haltberges, also der voralpinen Decke, geschieden.

Auch an dieser Grenze von hochalpiner und voralpiner Decke sind den Werfener Schichten verschiedene Schollen einverleibt.

Fig. 58.



Wo die Straße von Oed zum Sattel ins Miesenbachtal anzusteigen beginnt, schneidet sie einen Felsen aus Kalkbreccien an, von denen ich nicht sicher bin, ob sie zur Trias oder zur Gosau zu zählen sind.

Weiße, fleischrote, dunkelrote, grüne, eckige Kalkstücke liegen in grauen Kalk gebettet, aber auch graue, weiße Kalkstücke in roten.

An den Rändern der Felsmasse bemerkt man Gesteinsblöcke mit schwärzlichen, grauen und roten Werfener Schiefern vermischt.

Wenn man die benachbarte rote, mergelige Gosau mit ihrem Reichtum an exotischen Geröllen betrachtet, so scheint die Annahme von triadischem Alter als die wahrscheinlichere.

Die dahinter befindliche Gosau ruht auf gelben Rauhwacken, unter denen gegen den Dachsteinkalk des Haltberges zu gelbe, rötliche Werfener Schiefer zum Vorschein gelangen.

Auch am Eingang des Haltbergertales nördlich von Puchberg ragen beiderseits Kalkklippen auf, welche an der Südseite mit Gosaukonglomeraten verwachsen sind, während sie nordwärts ein Streifen von Rauhwacken vom dort aufsteigenden Hauptdolomit der voralpinen Decke trennt.

Am Abfall des Haltberges besteht die Kalkklippe aus gut geschichteten grauen bis rötlichen, rot und gelb geflaserten Kalken, am Abfall des Wiesberges aus grauem, ungeschichtetem Kalk.

In den Rauhwacken westlich dieser letzteren Klippe ist ein alter, längst erlegener Bergbau auf Eisenerze umgegangen.

In den Gosaukonglomeraten an der Südseite von Halt- und Wiesberg fallen unter den exotischen Geröllen die massenhaften Mandelsteine auf. Diabasporphyrite, Grünschiefer, Amphibolite, Chloritschiefer und Bronzitgabbro sind reichlich vertreten. Dagegen sind Porphyre hier zumindest selten, da mir keine untergekommen sind.

Außer diesen Gesteinen treten als Geröllmaterial vielerlei Kalke und Gesteine der Werfener Schichten auf.

Mit diesen Angaben wäre meine Schilderung des mittleren Gosauzuges für sich beendigt.

Ich möchte aber hier noch einige Beobachtungen über die Fenster von Hengst und Ödenhof sowie über die Glazialablagerungen des Schneebergs zusetzen, da sie sich räumlich unmittelbar anreihen.

Das von Kober zuerst erkannte Fenster des Hengst besitzt, wie schon mitgeteilt wurde, eine Achsenrichtung von SW—NO, doch mit nördlicherer Tendenz als es im Streichen der Hohen Wand zum Ausdruck gelangt. Die Streichrichtung in dem viel kleineren Fenster von Ödenhof, seine Oberfläche beträgt nur etwa ein Viertel jener des Hengstfensters, verläuft nahezu senkrecht dazu von SO—NW.

Während die Falte des Hengst bis 1419 *m* emporreicht, beträgt die Erhebung im Ödenhofer Fenster nur 796 *m*, was vielleicht allein schon den viel geringeren Umfang zu erklären vermag.

Die Fensternatur beider Gebiete wird zunächst durch das Auftreten von Dachsteinkalk, Kössener- und Liasschichten inmitten von alttriadischen Gesteinen bezeugt. Es sind aber auch noch andere ebenso gute Beweisgründe vorhanden. Dazu gehört einmal die ganze Art des Aufbaues und der Umrandung dieser Gebiete.

Es ist schon angeführt worden, daß wir es im Hengstfenster nicht bloß mit einem Sattel, sondern mit einer ganzen Falte zu tun haben. Ihrem Streichen entsprechend finden wir also auf der



Fig. 59.

1 = Werfener Schiefer und Rauhwacken.
2 = Rauhwacken.
3 = Dachsteinkalk.
4 = Zahnradbahn.

Fig. 60.

1 = Werfener Schiefer, Rauhwacken, Brecciendolomit. Gemische verschiedener Gesteinsarten.
2 = Untere wohlgeschichtete Triaskalke und Dolomite.
3 = Dunkler Breccienkalk.
4 = Dachsteinkalk.
5 = Scholle von gelblich, rötlichem Kalk.
6 = Rötliches Gosaukonglomerat.

Nordwestseite einen langen Streifen von Kössener- und Liasgesteinen, während sich in dem Muldenkern nur an der Südwestecke ein bescheidener Rest derselben Schichten erhalten hat.

Unsere Falte ist, soweit ihre Grenze frei von Schutt liegt, allseitig von Werfener Schichten und den dazugehörigen Rauhwacken mit scharfer tektonischer Diskordanz umschlossen.

Das ist besonders deutlich an der Ostseite, wo, wie Fig. 59 anführt, diese Grenze quer zum Ausstrich der schön geschichteten Dachsteinkalke verläuft. Der schroffste Kontakt aber ist der an der Südseite, entlang der sogenannten Rohrbacherlinie.

Ziehen wir ein Querprofil, Fig. 60, vom Hauslitzsattel im Osten zum Hengstsattel im Westen, so sehen wir, wie beiderseits in den angrenzenden Werfener Schichten Schubsplitter eingeschlossen sind.

An der Nordseite des Hauslitzsattels steckt ein Keil von dunklem Breccienkalk in den Rauhwacken und rot-grünen Werfener Schichten.

An der Nordseite des Hengstsattels treffen wir inmitten einer typischen Mischungszone von Haufen von rot-grünen Werfener Schichten, von aschgrauen, rötlichen, gelblichen, schwarzen Dolomit- und Kalkbreccien einen Keil von gelblichrötlichem, teilweise bracciösem Kalk. Es liegen in diesem Mischmasch auch Brocken von Eisenerzen sowie von Grauwackengesteinen herum. Darüber baut sich die hier reichgegliederte Trias des Wiener Schneebergs empor. Die Zahnradbahn, welche auf diesen Berg leitet, berührt auf ihrem Wege beide obengenannten Sättel. Ich möchte hier noch erwähnen, daß ich bei der Quelle an der Nordseite des Hengstsattels häufig Stücke von bunten Kalkbreccien fand, die ein rötlichgelbliches Zement aufweisen und manchmal kleine weiße Schalenscherbchen enthalten.

Wahrscheinlich handelt es sich um einen fast ganz abgetragenen Gosaurest. Aber nicht nur im O und W birgt der Werfener Rahmen des Hengstfensters Schubsplitter, sondern auch im S und N. Wenig entfernt von dem Nordzipfel des Hengstfensters finden wir bei der sogenannten Siebertruhe eine Klippe von dunklem Kalk sowie schwarze feste Sandsteine. Dieselben Sandsteine habe ich dann auch 2 *km* nordwestlicher bei Mittring getroffen. Sie dürften zu den Raibler Schichten gehören.

An der Südseite des Hengst gibt Fig. 61 das Auftreten einer reicher gegliederten Werfener Mischungszone für die Gegend von Innerrohrbach an.

Es sind wieder im wesentlichen die wohlbekannten Gesteinsarten der Werfener Schichten, der Rauhwacken und der gelben Kalke, die hier sogar mit gelblichen Hornsteinen ausgestattet sind. Außer-

Fig. 61.

Gahns
Hengst
Inner Rohrbach
S-N

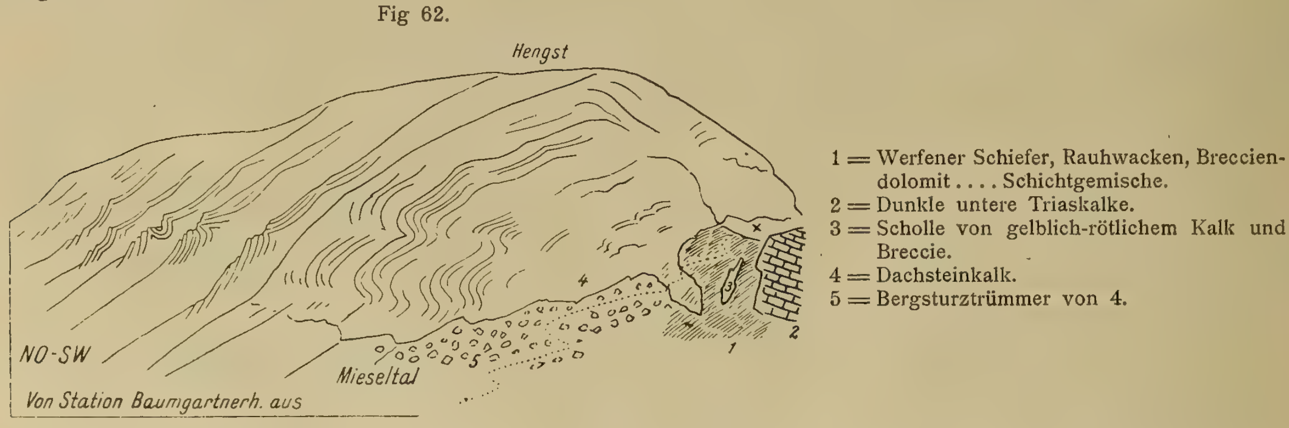
1 = Werfener Schiefer.
2 = Gelblichgraue Rauhwacken.
3 = Schwarze, weißadrige Kalke.
4 = { Gelbliche Kalke mit gelblichen Hornsteinen. Blaurote Kalke und gelbrötliche Breccien.
5 = Gelbliche Rauhwacken.
6 = Bunte Haufen von Verrucano vermischt mit Rauhwacken, Quarzsandsteinen und Schiefern.
7 = Gelbliche Flaserkalke.
8 = Dunkle Brecciendolomite.
9 = Dunkle geschichtete Kalke.
10 = Helle ungeschichtete Kalke.

dem sind auch haufenweise Verrucanogesteine zugemischt. An der Basis der Gahnstrias aber ist streckenweise eine Zone von gelblichen Flaserkalken entwickelt.

Die Staufalten an der NW-Seite des Hengst gibt Fig. 62 wieder.

Im Ödenhoferfenster nimmt der Dachsteinkalk mit den aufgelagerten Kössener- und Liasschichten im wesentlichen eine flach nordfallende Lage ein. Die Südgrenze ist aber ebenso schroff wie im Hengstfenster.

Fig 62.



Auch hier ist das ganze Fenster von Werfener Schichten und Rauhwacken eingerahmt, wenn auch diese Einrahmung an der Nordseite in der Umgebung des Stremberger Hofs eine ziemlich fadenscheinige ist.

Wir finden hier über den Liasmergeln nur einen schmalen Streifen von ganz zerquetschten roten, grünen, flatschigen Mergeln und Tonschiefern, stellenweise auch etwas gelbe Rauhwacke.

Am Weg nördlich des eben genannten Hofes ist ein kleiner Keil von hellgrauem Kalk in dieser Quetschzone eingeschaltet.

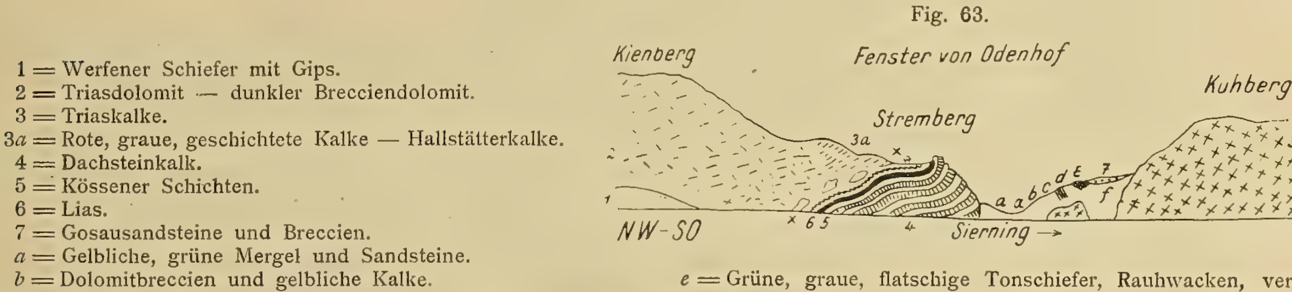
Am Südfuß der Dachsteinkalkwand, Fig. 63, ist am Eingang des kleinen, zum Guttenmann-Hof aufsteigenden Tales wieder eine typische Mischungszone der Werfener Schichten aufgeschlossen.

Wir treffen rote, grüne Werfener Schichten innig vermischt mit gelben, Eisenerze führenden Rauhwacken, mit Einschaltungen von gelben Kalken, Dolomitbreccien, von roten, grünen Kieselkalken, gelblichgrauen Kieselschiefern, starken weißen Quarzlagen mit Eisenerzen, grünen, grauen, flatschigen Tonschiefern.

Manches erinnert an die Verhältnisse der silurischen Schichten des Florianikogels. Unter dieser Mischungszone taucht eine Klippe von lichtem Triaskalk empor.

Auf der Mischungszone aber liegen kalkige Breccien und Sandsteine mit Inoceramenschalen, also Gosaukreide. Während das Hengstfenster himmeloffen steht, ist das Ödenhoferfenster noch etwas von der auflastenden Schubmasse der hochalpinen Decke verhüllt.

Fig. 63.

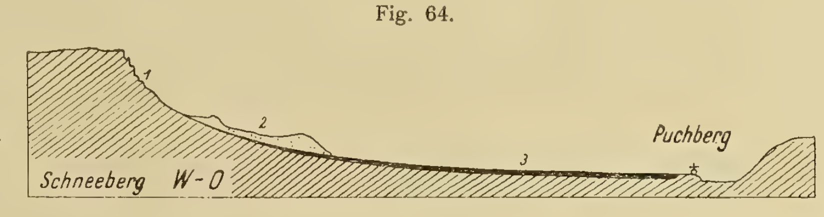


1 = Werfener Schiefer mit Gips.
2 = Triasdolomit — dunkler Brecciendolomit.
3 = Triaskalke.
3a = Rote, graue, geschichtete Kalke — Hallstätterkalke.
4 = Dachsteinkalk.
5 = Kössener Schichten.
6 = Lias.
7 = Gosausandsteine und Breccien.
a = Gelbliche, grüne Mergel und Sandsteine.
b = Dolomitbreccien und gelbliche Kalke.
c = Rauhwacken.
d = Rote, grüne Kieselkalke, gelblichgraue Kieselschiefer, Quarzlagen, Karbonate mit Eisenspatgängen.
e = Grüne, graue, flatschige Tonschiefer, Rauhwacken, verschiedene Kalke, schwarzgraue Schiefer.
f = Gelbliche Rauhwacken mit Eisenspat, grauen, roten Tonschiefern und Sandsteinen.

Es sind helle Dolomitmassen, die im Hochberg 957 *m* gipfeln und gegen Westen in lichte, buntgefärbte Kalke übergehen, die schon Bittner mit einigen Ammonitenfunden als Hallstätter Fazies kennzeichnen konnte.

Fig. 64.

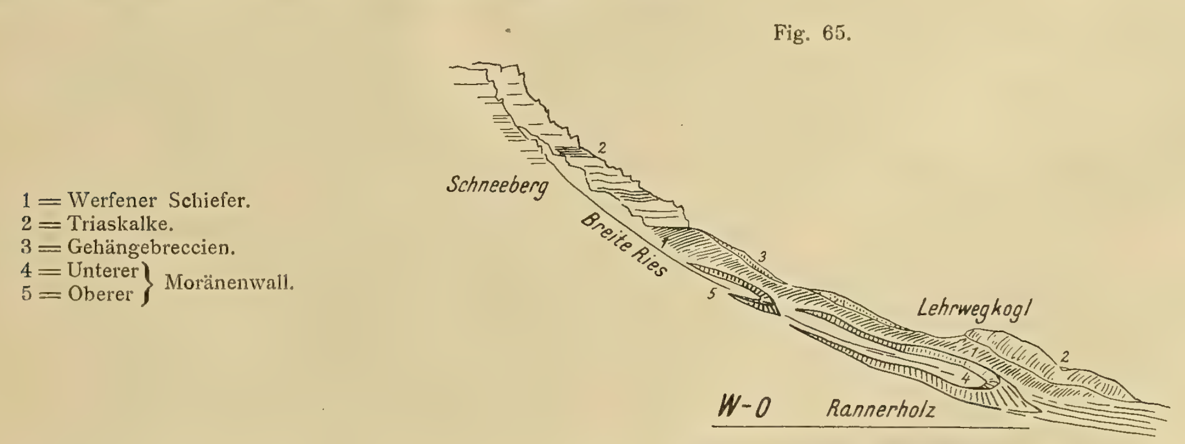
1 = Grundgebirge.
2 = Moränenwälle.
3 = Konglomerate und Schotter des Puchberger Beckens.



Sie werden von einer Zone überlagert, die mehrere Streifen von schwarzen Tonschiefern und Kalken enthält, also wohl den Raibler Schichten angehörig sein dürfte.

Diese Schichten stoßen nordwärts an eine von Osten her einspitzende Zunge von Werfener Schichten. Steigt man aber von Stremberg gerade nordwärts zum Gipfel des Kienbergs (1014 *m*) empor, so trifft man unmittelbar hinter den Hallstätterkalken auf die dunklen Brecciendolomite, die diesen Gipfel und die Gosaumulde von Ratzenberg tragen.

Fig. 65.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Triaskalke.
3 = Gehängebreccien.
4 = Unterer } Moränenwall.
5 = Oberer } Moränenwall.

Die Profile, Fig. 24, 57, 63, lassen sich zu einem größeren Querprofil verbinden, das vom Kambühel bei Flatz bis zum Haltberg reicht und den Aufbau der ganzen Zone knapp neben dem Sierningdurchbruch veranschaulicht.

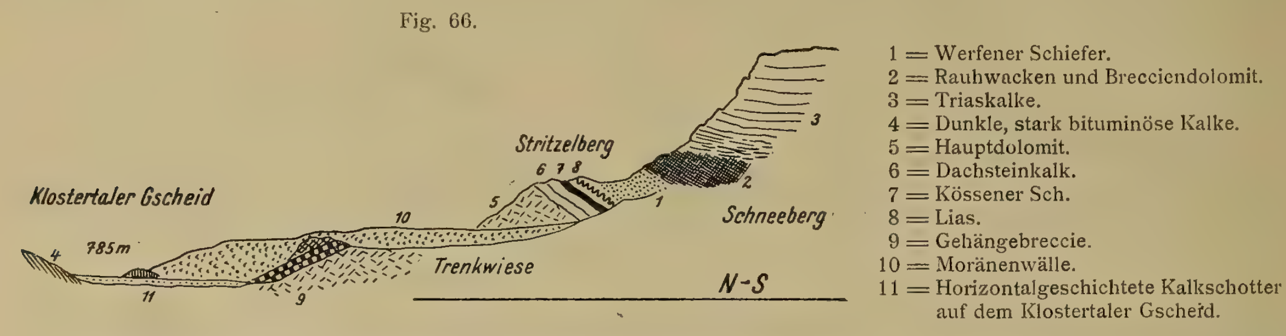
Ich gehe nun zur Beschreibung der Glazialablagerungen über, die von dem Wiener Schneeberg ihren Ausgang genommen haben.

Es kommen da vor allem die Ost- und die Nordseite dieser weithin die Lande überschauenden großartigen Ostecke der Nordalpen in Betracht, die aber in reicher Weise damit ausgestattet sind. Fig. 64 legt zunächst einen Schnitt vom Gipfel des Schneebergs bis in die Gegend von Puchberg und Fig. 65 eine Ansicht zur Betrachtung vor.

Wir sehen da zwei außerordentlich deutliche und gut erhaltene Moränenringe, von denen der untere etwa den Raum des sogenannten Rannerholzes einnimmt.

Beide Ringzonen sind gegen abwärts und seitwärts vollkommen geschlossen, so daß man die breite, etwa 8--10 *m* hoch aufgeschüttete Schotterterrasse des Puchberger Beckens nicht direkt aus ihrem Material beziehen kann.

Fig. 66.



1 = Werfener Schiefer.
2 = Rauhwacken und Brecciendolomit.
3 = Triaskalke.
4 = Dunkle, stark bituminöse Kalke.
5 = Hauptdolomit.
6 = Dachsteinkalk.
7 = Kössener Sch.
8 = Lias.
9 = Gehängebreccie.
10 = Moränenwälle.
11 = Horizontalgeschichtete Kalkschotter auf dem Klostertaler Gscheid.

Diese Schotter sind wenig gerollt und größtenteils unverkittet. Doch finden sich auch an manchen Stellen Reste von konglomerierten Schottern, und zwar entlang der niedrigen Höhenrücken.

In den Moränenwällen, die etwa von 800—1200 *m* aufwärts reichen, trifft man nicht selten Blöcke und Stücke der bereits früher erwähnten Gehängebreccien an, die den Schneeberg einst hoch hinauf umgürteten.

Daß sie wesentlich älter als die Moränenwälle sind, tritt besonders schön an der Nordseite des Schneebergs hervor. Fig. 66.

Fig. 67.



1 = Triaskalkwände.
2 = Gosaumergel mit weißen Muschelschalen, feine Pflanzensandsteine mit Glimmerschüppchen.
3 = Kalkblockmassen.
4 = Breccie.

a = Frischer Schutt, darunter grauer und schwarzer Humus.
b = Feiner, knetbarer, rötlichgelber Lehm, 1—2 *m*.
c = Breccie aus weißen, seltener dunklen Kalkstücken.

Dieses Profil ist nach den vortrefflichen Aufschlüssen gezeichnet, die man beim Aufstieg vom Klostertaler Gscheid zur Trenkwiese und zum Schneeberg einsehen kann.

Die herrliche Waldlichtung der Trenkwiese ist da von einem prachtvollen Moränensaum umspannt, welcher aber auch noch eine mächtige Gehängebreccie überlagert, die der Quellbach der Trenkwiese unter den Moränen angesägt hat.

Die mächtigen Endmoränen der Schneeberg-Nordseite steigen dann bis nahe ans Klostertaler Gscheid, also bis gegen 800 *m* herunter. Sie enden also in derselben Höhe wie die Moränenwälle an der Ostseite unseres Berges.

Am Klostertaler Gscheid liegen horizontal geschichtete Kalkschotter, die nur wenig gerollt erscheinen. Sie dürften wohl den Schottern des Puchberger Beckens entsprechen.

Fassen wir diese Ergebnisse zusammen, so hätten wir als älteste Ablagerung des Diluviums die weitverbreiteten Gehängebreccien, welche wohl sicher interglazieles Alter haben dürften, wenn bisher auch eine Unterlagerung durch ältere Moränen nirgends in unserem Gebiete nachzuweisen war. Sie sind wohl Altersgenossen der Höttinger Breccie. Ich möchte hier noch ein Profil aus dem großen Höllental, Fig. 67, einschieben, weil auch dort noch ein Rest der Gehängebreccien vorhanden zu sein scheint. Wir finden, wenn wir die groben Blockmassen am Eingang dieses wilden Tales überschritten haben, einen sehr flach ansteigenden Talboden, in den im Herbste 1915 ein Wildbach tiefe Furchen gerissen hatte. Unter der frischen Schuttdecke und grauem bis schwarzem Humus war da eine etwa 1—2 *m* starke Lage eines feinen, knetbaren, rötlich gelben Lehms erschlossen. Unter diesem Lehm kam dann streckenweise auch eine sehr steil geschichtete Breccie zum Vorschein, die aus weißen, seltener aus dunklen Kalkbrocken zusammengekittet ist. Sie ist vom Taleingang hereingeschüttet.

Deutliche Moränen habe ich keine getroffen, doch ist nicht ausgeschlossen, daß die groben Blockmassen am Eingang keine Bergsturzmasse, sondern eine Blockendmoräne sind. Es würde dies ein Herabreichen bis etwa 600 *m* Höhe bedeuten, was angesichts der nordseitigen Lage und der gewaltigen Schutzwände gegenüber den gleichzeitigen freien Enden der Schneeberggletscher in 800 *m* nicht verwunderlich wäre. Die selten gut erhaltenen Moränenwälle des Schneebergs reichen bis zirka 800 *m* Seehöhe herab und lehren uns, daß dieser Berg wohl eine kräftige Vergletscherung besaß, die aber nur einzelne Zungen bis zu seinem Fuße herabzustrecken vermochte.

Die Moränen an der Ostseite des Schneebergs sind in zwei gutgetrennten Ringzonen entwickelt. An der Nordseite ist die Trennung auch vorhanden, aber nicht so deutlich. Hier fügen sich die Wälle des oberen Stadiums in der Gegend der Kapelle bei 913 *m* zusammen. Die Schotter von Puchberg und vom Klostertaler Gscheid sind nicht aus den Moränenwällen abzuleiten, da die Ringe für sich geschlossen und unverletzt sind.

Sie müssen deshalb wohl älter als die Moränen sein. Es ist möglich, daß sich bei genauer Aufnahme dieselben in zwei altersverschiedene Teile zerlegen lassen. Die Gehängebreccien unterteufen in der Gegend von Schwabenhof deutlich die Puchberger Schotter.

III. Der nördliche Gosauzug.

Während der I. Gosauzug im wesentlichen an der Südseite der hochalpinen Decke, der II. ganz in ihrem Bereiche liegt, erstreckt sich der III. entlang der Grenze von hochalpiner und voralpiner Decke.

Er ist von allen Streifen der am meisten in einzelne Lappen aufgelöste, zwischen denen oft größere trennende Abschnitte liegen. Meine Untersuchungen erstreckten sich bisher auf die Vorkommen zwischen Triestingtal und Lahnsattel westlich von Schwarzau. Zwischen Triesting- und Piestingtal sind mir nur zwei isolierte Gosaureste bekannt geworden. Das östliche liegt am Pfarrkogl bei Enzesfeld, das westliche, weit größere, in der Umgebung von Hernstein.

Nur das erstere hat, soweit ich sah, exotische Gerölle. Die Gosauablagerungen an der Südseite des Pfarrkogels müssen eine wesentlich größere Verbreitung besessen haben, denn man trifft auf dem Dachsteinkalk dieses Berges bis zum Gipfel reichlich exotische Gerölle verstreut, die von den zerstörten Gosauschichten übriggeblieben sind.

Am reichsten angehäuft sind solche exotische Gerölle, die bis Kopfgröße erreichen, in der Mulde, welche sich vom Vierbrüderbaum ziemlich steil zum Triestingtal hinabsenkt. Hauptsächlich liegen Felsophyre vor in sehr verschiedener Art und bunten Färbungen. Auffallend ist auch die vielfach in diesen Gesteinen sehr schön entwickelte Fluidalschichtung und Fluidalstruktur. Die Gosauschichten von Hernstein nehmen zwar einen ziemlichen Raum ein, sind aber dennoch nicht gut erschlossen. Exotische Gerölle habe ich keine gefunden. Es sind bunte Mergel, Kalksandsteine mit Orbitoliten,

Kalkkonglomerate und Kalkbreccien, die ebenfalls Orbitoliten enthalten. Mit der Gosau der Neuen Welt und von Triesting scheinen sie nicht unmittelbar verbunden zu sein.

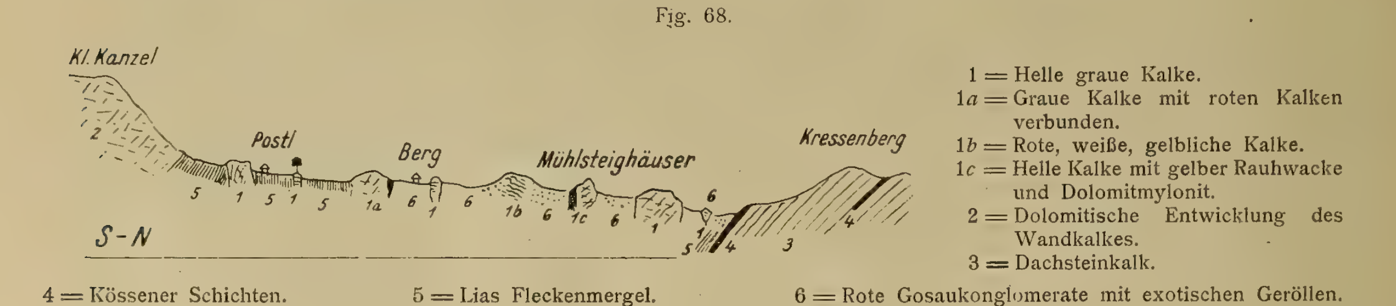
Eine breitere und mannigfaltigere Einlagerung gewinnen die Gosauablagerungen im Bereiche des Miesenbachtales.

Der mächtige, selbst mehrfach geschuppte Wall voralpiner Gesteine, welcher sich vom Mandling über Kressenberg zur Dürren Wand fortsetzt, überquert das Miesenbachtal, wobei er entweder durch vorgosauische Erosion oder tektonische Niederbeugung stark erniedrigt erscheint. Zwischen diesem leicht kennbaren Zug und der noch auffälligeren Hohen Wand ist nur ein Streifen von Werfener Schichten eingefügt, der die Grundlage einer großen Anzahl von Klippen aus hochalpinen Kalkgesteinen bildet. Manche davon sind schon lange als Hallstätter Klippen beschrieben worden.

Zwischen diese Klippen aber sind die roten Gosaukonglomerate mit einem seltenen Reichtum an exotischen Geröllen eingegossen.

Es würde mich hier zu weit führen, diese zahlreichen Klippen näher aufzuzählen, was ja auch insofern überflüssig ist, als die neue Karte von Kossmat ja doch in absehbarer Zeit darüber Auskunft geben wird. Ich beschränke mich hier auf die Darstellung von zwei Querprofilen, von denen das erste die Klippen der Mühlsteighäuser, das zweite jene in der Gegend von Lanzing betrifft.

Fig. 68.



1 = Helle graue Kalke.
1a = Graue Kalke mit roten Kalken verbunden.
1b = Rote, weiße, gelbliche Kalke.
1c = Helle Kalke mit gelber Rauhwacke und Dolomitmylonit.
2 = Dolomitische Entwicklung des Wandkalkes.
3 = Dachsteinkalk.
4 = Kössener Schichten. 5 = Lias Fleckenmergel. 6 = Rote Gosaukonglomerate mit exotischen Geröllen.

Das Querprofil, Fig. 68, welches etwas gebogen von der Höhe der Kl. Kanzel über den Scheidekamm zwischen Miesenbach- und Dürnbachtal gezogen ist, schneidet die Klippenzone an ihrer breitesten Stelle.

Wir treffen da im südlichen Abschnitt die Klippen in bläulich graue, dünnschichtige Mergel und Kalke eingefügt. Die Klippen selbst bestehen aus lichten grauen Kalken, die gegen Norden viel lebhaftere bunte Farben annehmen. Es sind Kalke, wie man sie in gleicher Art in den Kalkvorräten der Hohen Wand oft zu sehen bekommt.

Die Mergelzonen dürften nach meinem Dafürhalten nicht den Werfener Schichten, sondern den Liasmergeln zuzuzählen sein.

Die Klippen selbst stecken hier in aufrechter Lage wie Zähne in einem Kiefer.

Im nördlichen Abschnitt der Reihe füllen rote Gosauschichten alle Lücken in diesem Gebisse sorgsam aus.

Die Gosauschichten machen sich besonders im Frühjahr und Herbst auf den offenen Äckern durch ihre rote Färbung leicht erkenntlich. Sie enthalten Unmassen von exotischen Geröllen aus Diabas, Diabasmandelsteinen, Amphiboliten und Felsitporphyren. Die Diabasmandelsteine der Gosau sind seinerzeit von Rosenbusch als »Spilite« bezeichnet worden.

Die roten Konglomerate greifen aber nicht in die angrenzenden Täler hinunter, sondern krönen in deutlicher Art die Klippenhöhen, wobei sie durch immer reichere Aufnahme von bunten Kalken mit den einzelnen Klippen aufs engste verwandt werden.

Am Kressenberg selbst liegt eine zweifache Schuppe der voralpinen Decke vor.

Steigt man von unserem Klippengrat gegen Osten ins Dürnbachtal herab, so sieht man die Liasmergel die Klippen unterlagern, begibt man sich auf der anderen Seite ins Miesenbachtal, so trifft

man da unter den Klippen auf die schon erwähnte Zone der Werfener Schichten, die an der Südseite dieses Tales auf eine lange Strecke erschlossen sind. Gegen Westen zu verarmt der Klippenbesitz des Miesenbachtales.

Das Querprofil, Fig. 56, dessen südlichen Abschnitt wir bereits früher besprochen haben, zeigt nur mehr wenig davon.

Dafür ist in diesem Profil die Aufschiebung der stark gefalteten Reiflingerkalke auf die voralpinen Schuppen der Dürren Wand sehr klar zum Ausdruck gebracht.

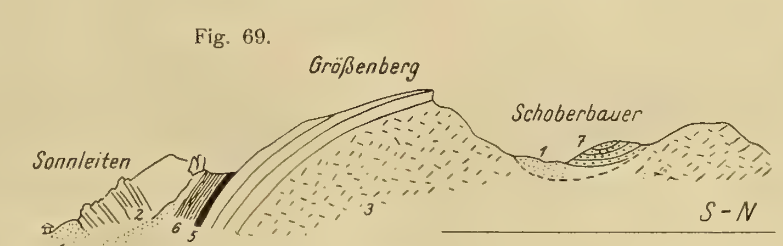
Interessant ist des weiteren an diesem Profil zu sehen, wie nahe sich hier die tiefe Mulde von Grünbach und die kleine von Lanzing kommen.

Die Gosau von Lanzig steht mit jener von Öd und Pfenningwiese in einem nur durch kleine Erosionslücken gestörten Zusammenhang und hat denselben Reichtum von bis kopfgroßen exotischen Geröllen, der auch die Gosau an der Nordseite des Bruck-Puchberger Beckens auszeichnet.

Es hat nun aber nicht bloß auf diesem Wege von der Miesenbacher Gosau eine Fortsetzung gegen Westen bestanden, sondern auch noch entlang einer etwas nördlicheren Straße von der allerdings nur bescheidene Reste mehr vorliegen. Wir treffen da schon in dem Sattel nördlich des Haltbergs schlecht aufgeschlossene Gosaukonglomerate an. Ein beträchtlich besser erkennbarer Rest liegt im Norden des Puchberger Beckens zwischen Größenberg und Schober im Gebiet der Mammauwiesen.

Fig. 69.

1 = Werfener Schiefer.
2 = Triaskalke.
3 = Hauptdolomit.
4 = Dachsteinkalk.
5 = Kössener Schichten.
6 = Lias.
7 = Gosaukonglomerate.



Die Gosauschichten bilden da eine lange, nur seicht gebogene Mulde und bestehen aus rötlich zementierten feineren Konglomeraten, die vorzüglich Gerölle, meist Kalke aus jüngeren Schichten umschließen.

Exotische Gerölle habe ich nicht getroffen.

Am Sattel zwischen Schobergut und Mammau breitet sich eine bunte Gosaubreccie aus, die sehr viel Hauptdolomitmaterial enthält.

Die Gosauschichten von Mammau liegen nun aber auf einer Unterlage von Werfener Schichten, Rauhwacken und dunklen Brecciendolomiten, deren Auftreten hier in einer Umgebung von Dachsteinkalk und Hauptdolomit nicht eindeutig zu bestimmen ist.

Man hat da zwei Möglichkeiten. Entweder faßt man diese Werfener Schichten als einen Rest der ehemals weiter vorgeschobenen hochalpinen Decke auf oder man bezieht diese Alttrias aus dem Liegenden der voralpinen Decke.

Soweit ich die Sachlage in dem nicht gut aufgeschlossenen Gebiet zu überblicken vermochte, scheint mir die erstere Annahme die wahrscheinlichere zu sein, welche auch in dem Profil Fig. 69 zum Ausdruck gelangt.

Jedenfalls stoßen die Werfener Schichten der Mammau völlig unvermittelt von dem klaren hellen Hauptdolomit des Größenbergzuges ab.

Wie diese Profile zu erkennen geben, liegt die hochalpine Decke der Südseite des Größenbergzuges deutlich genug auf.

Wenn man diesen Zug näher betrachtet, so wird man gewahr, daß die voralpine Decke im Gebiet des sogenannten Abfalls nördlich von Losenheim von einer scharfen, zirka 1 *km* betragenden Nordsüdverschiebung betroffen ist.

Eine ähnliche Querschiebung ist auch am Ostende des Größenbergs in dem Sattel zwischen ihm und dem Wiesberg zu verzeichnen.

Was aber bei der Querstörung von Losenheim in die Augen fällt, ist, daß auch die Reste der vorgeschobenen hochalpinen Decke dieselbe Verschiebung erleiden.

Es sind dies lichte, bunt gefärbte, teils geschichtete, teils ungeschichtete Kalke, die von Bittner seinerzeit als Hallstätterkalke beschrieben worden sind.

Sie liegen auf Rauhwacken und Werfener Schichten und sind im N. den Liasmergeln der voralpinen Decke aufgeschoben.

Das nächste westlichere Gosauvorkommen von Bedeutung lernen wir dann im Voistale kennen. Hier dehnen sich in dem Gebirgswinkel zwischen Voistal und Schwarzatal die Gosauablagerungen mächtig aus und steigen dabei am Hahnlesberg nahezu bis zu dem 1369 *m* hohen Gipfel empor.

Wie das Querprofil Fig. 70 dartut, handelt es sich dabei um zwei tektonisch getrennte Gosauzüge, welche sich übrigens auch sonst in ihrer Entwicklung unterscheiden.

Exotische Gerölle habe ich im Bereiche beider Züge angetroffen, und zwar in beträchtlichen Massen.

Die tektonische Trennung der zwei Gosauzüge unseres Bereiches ist eine sehr scharfe.

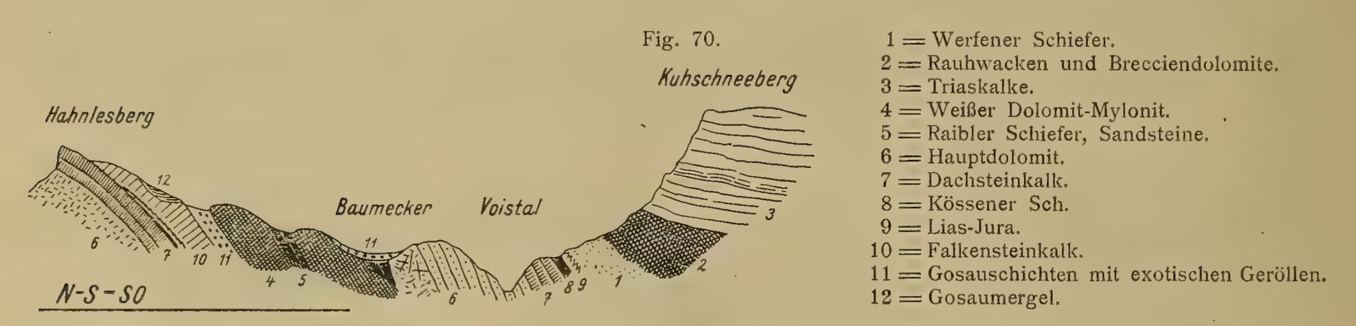


Fig. 70.

1 = Werfener Schiefer.
2 = Rauhwacken und Brecciendolomite.
3 = Triaskalke.
4 = Weißer Dolomit-Mylonit.
5 = Raibler Schiefer, Sandsteine.
6 = Hauptdolomit.
7 = Dachsteinkalk.
8 = Kössener Sch.
9 = Lias-Jura.
10 = Falkensteinkalk.
11 = Gosauschichten mit exotischen Geröllen.
12 = Gosaumergel.

Wir sehen die roten Konglomerate des südlicheren Zuges die Höhen des Baumecker Sattels in dünnen Lagen überziehen. Auf der Ostseite reichen sie dabei bis ins Voistal herab, auf der Westseite aber streichen unter ihnen bald schwarze Tonschiefer und Sandsteine der Raibler (Lunzer) Schichten und große Massen von lichtem Dolomitmylonit aus.

Die Gosau transgrediert hier über eine offenbar tektonisch verschuppte Masse von lichtem Dolomit und dunklen Raibler Schichten. Wahrscheinlich gehört der auffallend lichte und durchaus mylonitische Dolomit ins Liegende der Raibler Schichten und könnte also als Wettersteindolomit bezeichnet werden.

Am Abhang vom Baumecker Sattel ins Voistal habe ich hier viele exotische Gerölle in der Gosau angetroffen, insbesondere Felsitporphyre, Quarzite, Quarzporphyrtuffe, Dioritporphyrite, Granitaplite, Grünschiefer. Die Gerölle erreichen meist etwa nur Faust-, seltener Kopfgröße.

Der nördlichere Streifen des schon erwähnten weißlichen Dolomitmylonits stößt nun mit einer steilen Schubfläche an eine weit mächtigere Gosauzone, die im Voistal in der Gegend des Höchbauerhofes beginnt, bis Schwarzau reicht und dabei auf den Abhängen des Hahnlesberges gegen Lange Wand und Falkenstein beträchtliche Ausdehnung gewinnt.

Diese Gosau ist einer steil gegen Süden herabgebogenen Platte von lichten, rötlichen, meist ungeschichteten Kalken an- und aufgelagert, über deren Alter keine völlige Sicherheit besteht.

Die Darstellung, welche Kober in den Denkschriften der kais. Akademie der Wissenschaften vom Jahre 1912 auf Seite 387 gegeben hat, ist so unrichtig, daß sie zunächst zurechtgerückt werden muß, besonders da auch die Angaben von Bittner mißdeutet erscheinen.

Bittner war bereits im Sommer 1893 bekannt, daß diese »Falkensteinkalke«, so will ich sie der Kürze halber bezeichnen, nach dem schönen Felshorn, welches sie nördlich von Schwarzau bilden, von Hauptdolomit, Dachsteinkalk, Kössener- und Liasgesteinen unterlagert werden. (Verhandlungen der k. k. G. R. A. 1893, Seite 245.)

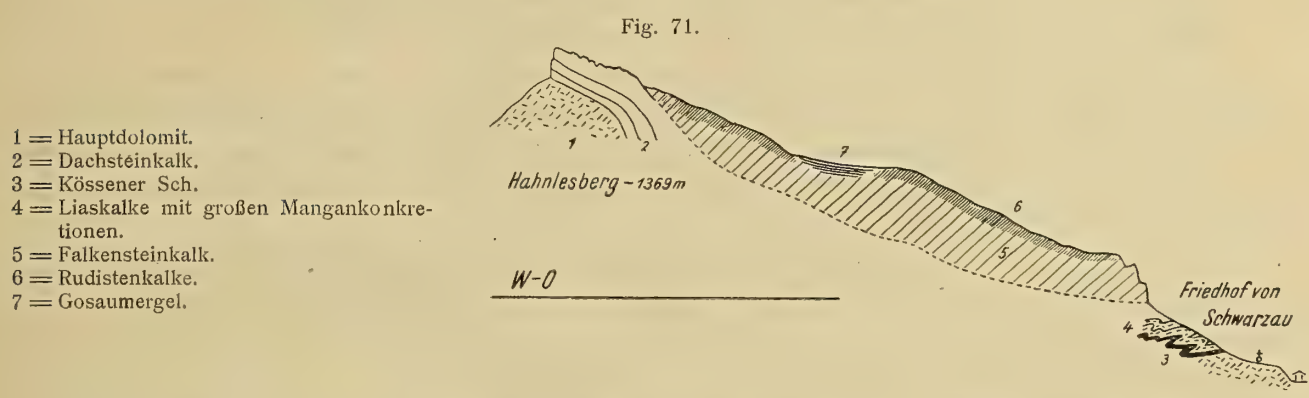
Ebenso hatte er festgestellt, daß diese Falkensteinkalke von Gosauschichten mit Inoceramen, Orbitoliten, Rudisten überlagert werden.

In dem erwähnten Aufnahmsbericht vom Sommer 1893 hatte er dann die Falkensteinkalke nach vorläufiger Bestimmung der darin entdeckten Fossilien und der Gesteinsähnlichkeit mit den Oberalmer Schichten Salzburgs und den Plassenkalken in Vergleich gezogen.

Nach einer genaueren Prüfung der mitgebrachten caprinen- oder dicerasartigen Bivalven gelangte er dann zum Ergebnis, daß hier »Caprotinen« vorliegen und er bezeichnete daher die Falkensteinkalke auf Seite 325 desselben Jahrganges der Verhandlungen als unterkretazische Caprotinen- oder Schrattenkalke.

Jedenfalls war damit der erste Vergleich mit Plassenkalk ungültig gemacht worden.

Fig. 71.

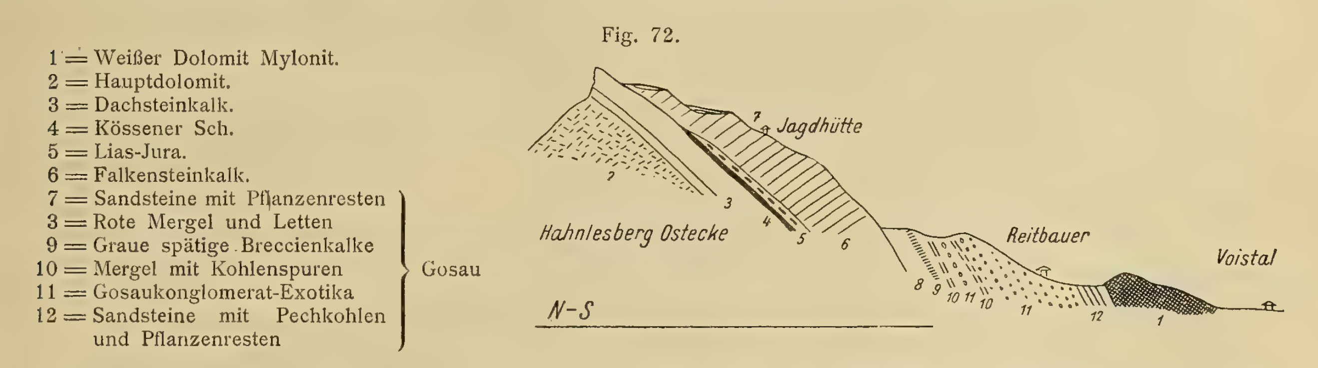


Kober sagt nun: »Über dem Orte Schwarzau erhebt sich mit einer steilen Mauer der Falkenstein. Die Basis bildet Hauptdolomit. Unvermittelt folgt darüber als prächtige Mauer ein fester, dichter, weiß und rot geflammter Kalk mit Belemniten, Korallen, Nerineen.

Es ist Plassenkalk.

Bittner hat zuletzt dieses Vorkommnis beschrieben. Darüber folgen eng verbunden Kalke mit Ostreen, dann Gosaumergel. Auf dem Plateau liegen Kalke mit Radioliten. Es ist das jenes Gestein, das von Bittner für Urgonkalk gehalten worden ist.« Eine Häufung von Unrichtigkeiten.

Fig. 72.



Zunächst bildet nicht Hauptdolomit, sondern auf allen vier Bergseiten Dachsteinkalk, Kössener Schichten und Lias das Liegende der Falkensteinkalke.

Am Aufstieg gegen den Falkenstein habe ich aber auch noch rote Hornsteinkalke als Unterlage angetroffen.

Ob der Falkensteinkalk dem Plassenkalk entspricht, bleibe dahingestellt.

Jedenfalls aber hat Bittner niemals die Gesteine mit den Radioliten für Urgonkalke gehalten, sondern eben wie er fürwahr klar genug beschreibt, die darunter befindlichen Falkensteinkalke.

Auch die weiteren Ausführungen Kobers darüber sind nicht zu bestätigen.

Der Falkensteinkalk liegt einmal nicht unmittelbar auf Hauptdolomit, sondern er ruht, wie die Profile Fig. 71 und 72 lehren, über einer viel reicheren voralpinen Schichtfolge.

Am Gipfel des Hahnlesberg sind die Falkensteinkalke mit dem Dachsteinkalk, der hier nicht selten große Megalodonten enthält, aufs engste verschweißt.

Ein transgressives Übergreifen der Falkensteinkalke ist also wohl nicht von der Hand zu weisen, doch scheinen die Liegendschichten auch abweichend gefaltet. Es ist dies aber sehr leicht mit den Unterschieden zwischen starren und biegsamen Schichten zu erklären.

Mit diesen Feststellungen fallen auch Kobers tektonische Vermutungen über eine »Falkensteindecke« zusammen.

Es ist mir leider bisher weder gelungen, im Felde neue Caprotinen aus den Falkensteinkalken zu gewinnen noch auch in der Reichsanstalt die alten zu Gesicht zu kriegen.

Solange also diese Bestimmungen Bittners nicht widerlegt sind, halte ich an dem unterkretazischen Alter der Falkensteinkalke fest, wobei ich wohl weiß, wie leicht Diceraten und Caprotinen verwechselt werden können, so daß ein Irrtum wohl denkbar ist.

Hier müssen neue Untersuchungen eingreifen. Ob es nun Plassen- oder Schrattenkalk ist, jedenfalls transgrediert die Gosau in klarer Weise und mit mannigfachen Gesteinen darüber hin und das ganze Vorkommen der Falkensteinkalke bleibt das, als was es Bittner sofort erkannte, ein vorläufig ganz isolierter Rest von Schichten, die sonst eben offenbar weit und breit der gewaltigen vorgosauischen Erosion zum Opfer gefallen sind.

Die Falkensteinkalke sind mit den voralpinen Gesteinen eng verbunden und es ist müßig, ihnen diesen Platz streitig machen zu wollen. Darin pflichte ich aber Kober bei, daß die von Bittner bei Schwarzau angenommene bedeutende Querverwerfung in diesem Ausmaß nicht vorhanden ist und man damit das Auftreten der Falkensteinkalke auch nicht begründen kann.

Die Gosauschichten, welche also die Falkensteinkalke übergreifen, sind am reichhaltigsten am Südfuß des Hahnlesberg aufgeschlossen.

Hier treffen wir, wie Fig. 72 ausweist, nicht nur Konglomerate mit vielen bunten exotischen Geröllen, sondern auch kohlenführende Lagen, zu deren Ausbeutung auch Stollen angeschlagen worden sind.

Wir haben eine bunte, reiche Gosauserie vor uns. Gegen Westen zu aber schneidet die Aufschiebung des Dolomitmylonits einen großen Teil dieser Schichtfolge ab.

Auf der Plateauhöhe zwischen den Ecken von Hahnlesberg-Lange Wand-Falkenstein breiten sich die Gosauschichten fast ununterbrochen aus.

Konglomerate fehlen hier oben.

Es sind nur Sandsteine mit Orbitoliten, bunte milde Mergel mit Inoceramen und schöne bunte Rudistenkalke entwickelt. Die Inoceramenmergel tragen die Wiesen und Felder der hier heroben befindlichen Höfe.

Die Rudistenkalke sind engstens mit dem Falkensteinkalk verwachsen, ebenso die Orbitolitenkalke. Die ersteren sind im südlichen, die zweiten im nördlichen Abschnitt entwickelt. Die Inoceramenmergel übergreifen alle drei Kalkzonen. Der Falkensteinkalk selbst nimmt gegen Norden an Mächtigkeit ab, während die Orbitolitensandsteine ihre in derselben Richtung vermehren.

Nahe der Südostecke unseres Plateaus stehen beim Steinhauerhof flach gemuldete, grünlichgraue wohlgeschichtete Sandsteine und Mergel an. Auf den Sandsteinflächen sind vielfach verkohlte Pflanzenreste zu sehen.

In früherer Zeit wurden aus diesen Sandsteinen Türschwellen, Grabsteine gehauen, wovon auch der benachbarte Hof seinen Namen hat.

Es muß Bittner zugestanden werden, daß die tektonische Verbindung der beiden Talseiten von Schwarzau nicht leicht zu finden ist und eine Querverwerfung den einfachsten Ausweg zu bilden scheint.

Trotzdem ist dieser Ausweg nicht gangbar.

Die tiefe Lage der voralpinen Decke östlich von Schwarzau ist viel leichter als eine nordsüdlich streichende Niederbiegung zu verstehen, wie wir eine solche ja auch zwischen Rax und Schneeberg kennen gelernt haben.

Damit sind auch die von O→W gefalteten Kössener- und Liasschichten beim Schwarzauer Friedhof, Fig. 71, wohl zu vereinigen.

Legt man sich also die Sache so zurecht, so bleibt der mächtige Wall voralpiner Gesteine des Hahnlesberg mit jenem des Obersberg im Westen von Schwarzau in unzerrissener, wenn auch kräftig verbogener Verbindung.

Damit sind aber noch lange nicht alle tektonischen Rätsel der Schwarzauer Gegend gelöst.

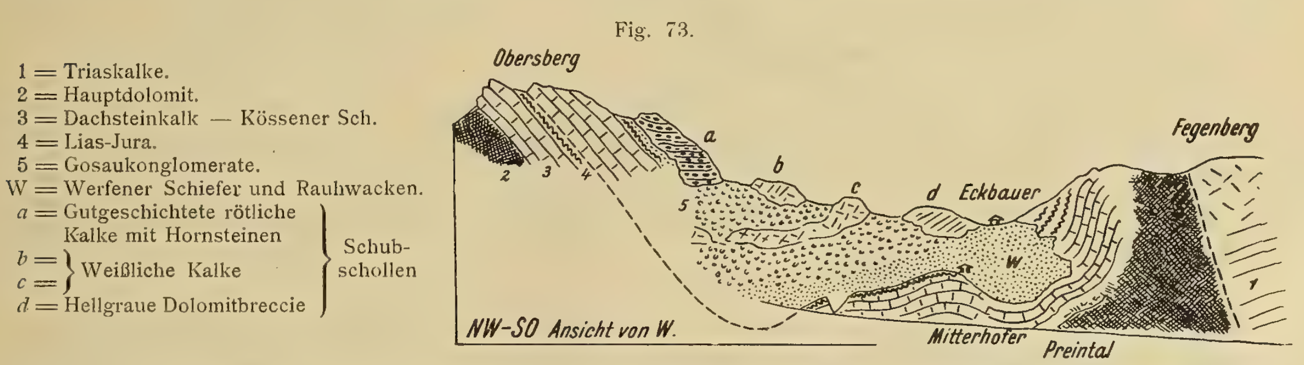
Wir sehen da zum Beispiel, wenn wir die beiliegende Ansicht, Fig. 73, um Auskunft fragen, am Obersberg eine doppelte Schuppe von voralpinen Gesteinen bestehen.

Zwischen diese Schuppen wäre nach meiner Deutung die Fortsetzung der Falkensteinkalke hineinzudenken.

Diese Verdoppelung war seinerzeit der Aufmerksamkeit Bittners entgangen und ihre Verfolgung gegen Westen habe ich bisher nur bis zu der Gippelmauer ausführen können.

Im Gebiete der Gratstrecke des Preinecks reicht die südliche Schuppe nicht mehr bis zum Kamm empor, sondern zieht am unteren Gehänge hin. Außerdem fehlt hier streckenweise der Einsatz von Kössener- und Liasschichten, so daß die Trennung nicht so leicht fällt. Dafür haben wir an diesen

Fig. 73.



Stellen den Einsatz von Dolomitmylonit. Hält man sich dieses Aufnahmsergebnis vor Augen, so erkennt man, daß der hohe Kamm von Gippelmauer-Gippelberg nicht die Fortsetzung der nördlichen, sondern jene der südlichen Schuppe des Obersberg bedeutet. Die Schuppen haben also insoferne die Rolle gewechselt, als am Obersberg die nördliche die hohe, gipfelbildende, am Gippel aber die südliche die Gipfelträgerin ist.

Am Preinecker Sattel aber setzt die diese beiden Schuppen trennende Verschiebung über den Grat. Damit wird nun auch das Auftreten der Gosau unter den Nordwänden von Gippelmauern-Gippelberg verständlich.

Es ist dies die Fortsetzung der Gosau von Hahnlesberg-Falkenstein und ich muß es der Fortsetzung meiner Aufnahmen überlassen, ob sich hier nicht doch noch weitere Reste von Falkensteinkalken entdecken lassen.

Interessant ist hier auch eine Beobachtung, die ich am Aufstieg aus der Prein zum Preinecker Sattel im Frühjahr 1916 gemacht habe.

In dem Graben, der von dem genannten Sattel südseitig zwischen Preineck und Gippelmauer hinabzieht, ist zwischen 1000 und 1100 *m* Höhe ein sehr deutlicher Moränenwall eingeschaltet. Unter dem Dolomitschutt dieses Walles habe ich nun gar nicht selten Stücke von Gosausandsteinen mit weißen Schalenresten getroffen. Sie können nur aus dem Bereiche des Preinecker Sattels stammen und zeigen also hier ein Durchstreichen der Gosau an, deren anstehende Gesteine ich bisher nicht gesehen habe.

Jedenfalls aber gelingt es so, die Tektonik des Hahnlesberg auch im Westen von Schwarzau wieder zu erkennen.

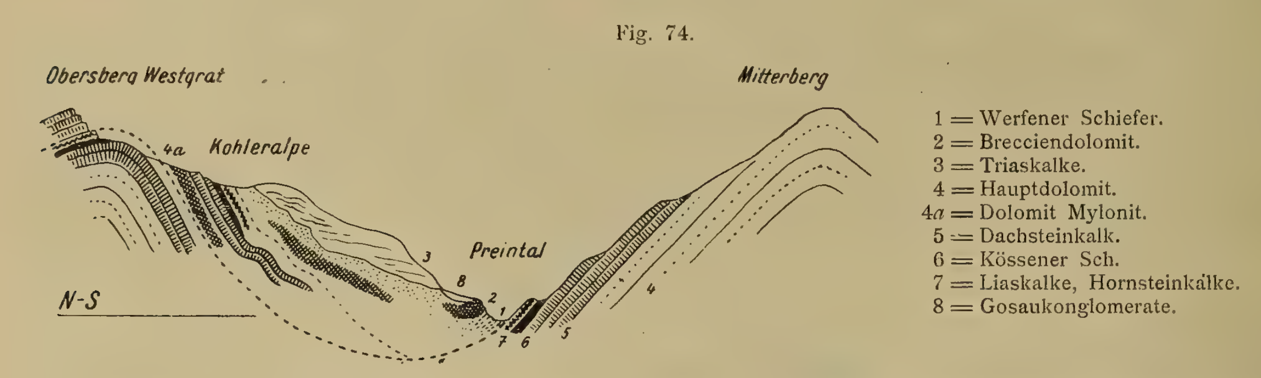
Über die südliche Schuppe von Obersberg-Preineck-Gippel ist nun eine beträchtliche Masse von Werfener Schichten und Rauhwacken mit vielen hochalpinen Triasschollen geschoben, zwischen deren Lücken rote Gosaukonglomerate eingefüllt liegen.

Die weißen Dolomitmylonite und die dunklen Raibler Schichten der Baumecker Gegend aber schieben sich zwischen der oben beschriebenen großen Mulde voralpiner Gesteine und der hochalpinen Trias des Fegenbergs ein.

Wie ich schon erwähnte, beherrscht dieser komplizierte Bau das ganze innere Preintal bis zum Lahnsattel und wahrscheinlich noch darüber westwärts hinaus.

Wie nun ebenfalls schon Bittner im Sommer 1893 entdeckt hatte, stecken in der Basalmasse unserer Werfener Schichten aber auch noch exotische Schollen. Da weder Bittner noch auch Kober

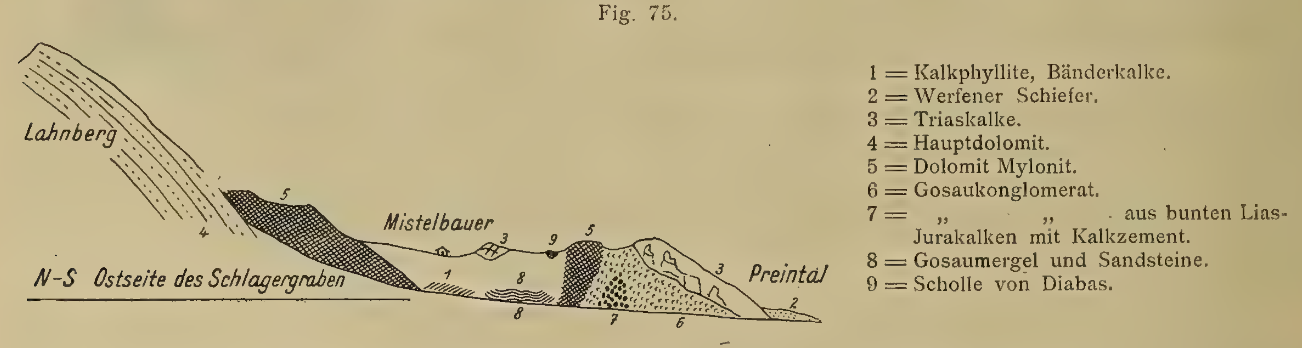
Fig. 74.



den Vorrat an solchen Schollen und ihre tektonische Lagerung erschöpfend beschrieben haben, so will ich zunächst eine vollständigere Darstellung dieser Vorkommen geben.

Vom inneren Preintal streben zwei eng benachbarte Gräben nordwärts gegen die Steilhänge des Preinecks hinauf.

Fig. 75.



Im östlichen Graben liegt der Angerbauerhof, im westlichen das Schlagerbauerngut und auf dem Scheiderücken dazwischen der Mistelbauerhof. Im östlichen Graben habe ich keine exotischen Schollen zu finden vermocht.

Dafür bietet uns hier der Seitenkamm der Rabenwand, auf dem die Kohleralpe liegt, ein sehr interessantes Profil, Fig. 74, das eine gute Ergänzung zu jenem des benachbarten Obersberg bedeutet.

Der niedrige Scheidekamm, auf welchem der Mistelbauerhof liegt, ist, wie Fig. 75 darlegt, bereits mit exotischen Schollen ausgestattet. Fig. 75 ist als eine Profilansicht nach den Aufschlüssen der Westseite gezeichnet.

Wir sehen da am Kamme selbst ein kleines und wenig aufgeschlossenes Vorkommen von Diabas, während wir ganz unten am Bach eine viel größere Masse von nordfallenden Bänderkalken mit Glimmerhäuten und von schwarzen Schiefern bemerken. Im Bachbett liegen auch Stücke von Quarzphyllit herum, während man die Hauptmasse als Kalkphyllite bezeichnen kann.

Die anliegenden Gosausandsteine sind zu einer flachbodigen Mulde verbogen. Die südlichere Gosau, welche auf Dolomitmylonit und helle Triaskalke übergreift, ist dagegen ganz in Breccien und Konglomeraten entwickelt.

Exotische Gerölle habe ich nicht gefunden. Es sind meist bunte Kalkkonglomerate. An einer Stelle ist ein auffallendes kalkigverbundenes Konglomerat aus bunten Jurakalken eingeschaltet.

Hinter den ostwestlich stark gestreckten Kalkphylliten treten auch Werfener Schichten zutage, in denen ich auch Blöcke eines bräunlichen Quarzites fand.

Begeht man nun in dem Graben des Schlagerbauerngutes auch die nähere Umgebung dieses Anwesens, so entdeckt man im Hangenden der unten am Bach aufgeschlossenen Kalkphyllite spärliche Vorkommen von roten Hornsteinen und zwei getrennte größere Massen von Diabas.

Beide liegen nördlich des Schlagerhofes und die größere derselben bildet daselbst einen kleinen länglichen Felshügel.

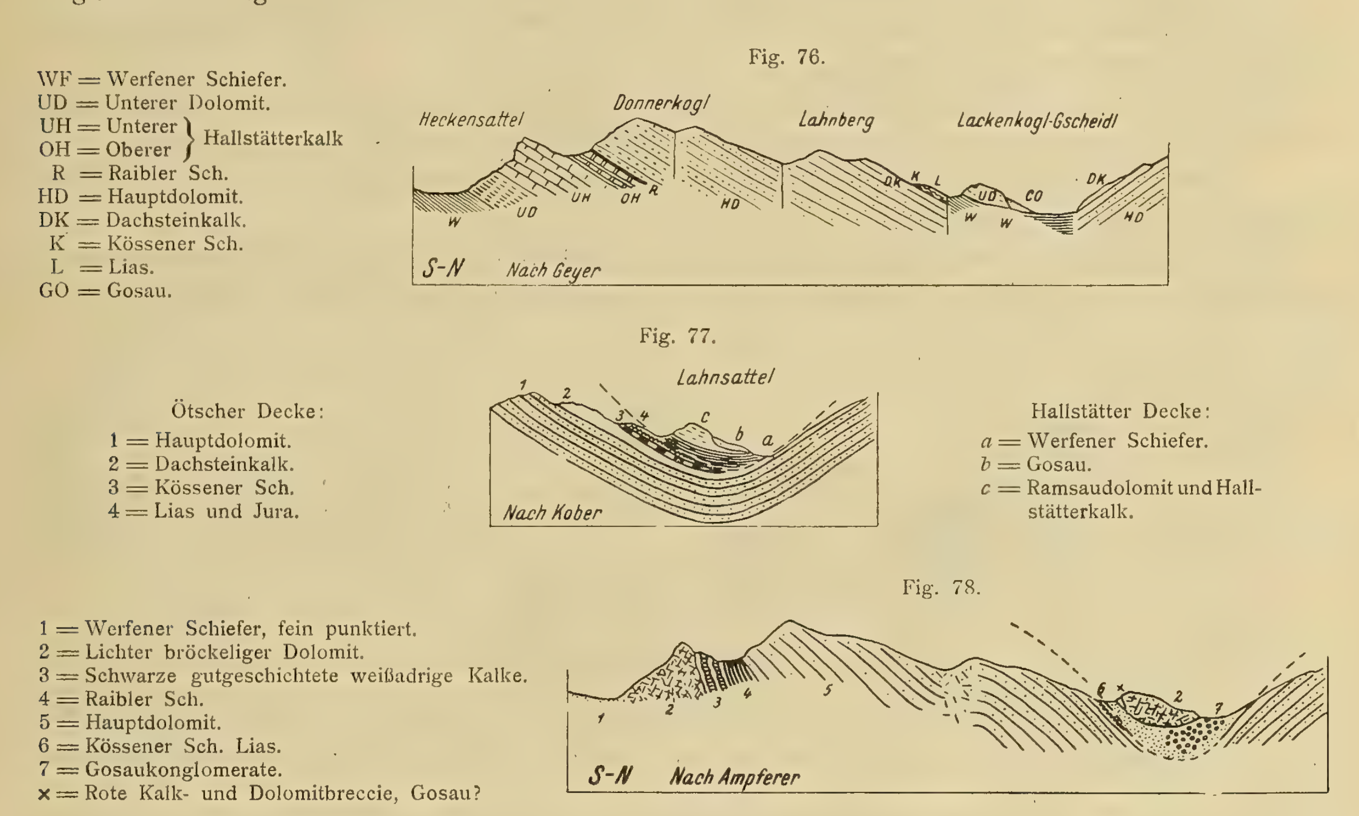


Fig. 76.

Fig. 77.

Fig. 78.

Wir haben also hier zutiefst eine große Scholle von Kalkphyllit, dann Fetzen von Quarzphyllit, von Quarzit und rotem Hornstein, endlich drei voneinander gut getrennte Schollen von Diabas. Dazu kommen noch Schollen von lichtem, hochalpinem Triaskalk und Dolomit.

Von den exotischen Schollen war Bittner nur der Kalkphyllit bekannt geworden, den er als quarzfreien Phyllit-Kalkglimmerschiefer bezeichnet hat.

Kober hinwieder führt an, daß im Preintal in einer Synkline aus Dachsteinkalk ein Vorkommen von Grundgebirge — schwarze Bänderkalke, schwarze Phyllite — Graphitschiefer und Serpentin liege. Die erstere Gruppe ist von mir als Kalkphyllit zusammengefaßt.

Serpentin ist mir im Preintal weder im Anstehenden noch als Geröll jemals zu Gesicht gekommen. Eine geringe Spur hat sich nur in Schliffen von Gosaubreccien gefunden.

Die drei Schollen von Diabas sowie die roten Hornsteine und die Quarzite sind also beiden Beobachtern entgangen gewesen.

In dem Gebiet zwischen Schlagerhofgraben und Lahnsattel habe ich keine weiteren exotischen Schollen mehr aufgespürt.

Für das Profil quer zum Lahnsattel haben wir von Geyer, Kober und mir Entwürfe, die ich aus historischem Interesse in Fig. 76, 77, 78 nebeneinander stelle.

Sie stimmen im Groben überein, im Feinen weichen sie beträchtlich ab.

Leider war zur Zeit meines Besuches der alte Stollen, welcher zur Holztrift vor langer Zeit unter dem Lahnsattel durchgeschlagen worden war, nicht mehr zu begehen.

Das Auswurfsmaterial ist aber noch zu sehen und scheint, soweit es offen liegt, nur aus roten Letten und Kalkkonglomeraten der Gosau zu bestehen.

Der Stollen durchstößt den Lahnsattel etwa 80 *m* unter der Jochhöhe.

Exotische Gerölle habe ich hier keine angetroffen. Damit bin ich mit meiner in dieser Arbeit beabsichtigten Beschreibung der Gosauvorkommen zum Ende gekommen, da sich in dem Gebirge zwischen Preintal und Rax keine Reste derselben mehr erhalten haben.

Ich möchte aber die Beschreibung nicht schließen, ohne noch dieses große Gebiet von voralpinen Schichtmassen, welche das ganze Schwarzriegeltal umspannen, in seiner Beziehung zu der hochalpinen Decke kurz zu schildern.

Die hochalpine Schubmasse weicht vom kleinen Fegenberg plötzlich fast um 4 *km* gegen Süden zurück, um dort über Vogelkirche und Sonnleitstein wieder weiter nach Westen zu ziehen.

An ihrer Stelle treten nun voralpine Gesteine, hauptsächlich Hauptdolomit, dann Dachsteinkalk, Kössener Schichten und Lias hervor.

Die Preintalmulde bildet südlich einen Sattel, der ungefähr dem Kamme Mitterberg-Lahnberg folgt und dem dann südlich im Bereiche des Schwarzriegeltales eine neue Mulde angegliedert ist.

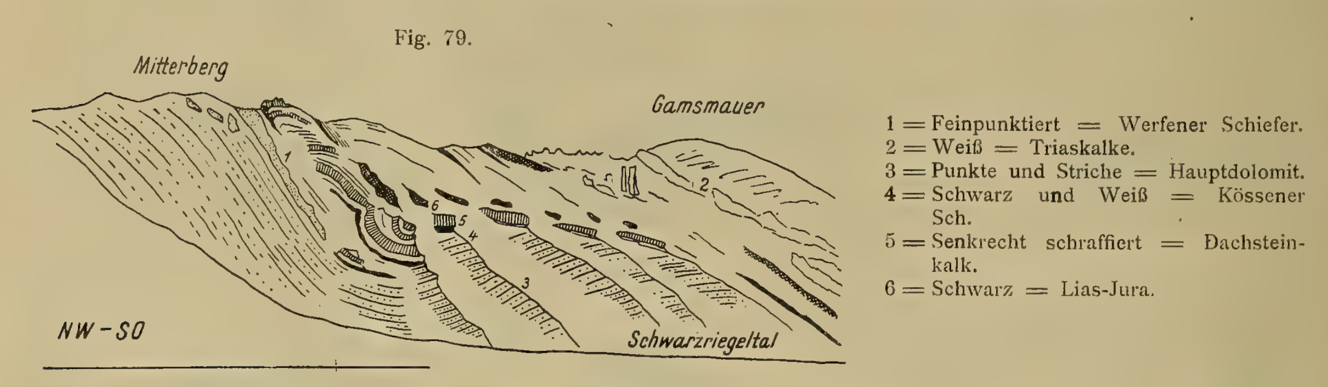


Fig. 79.

Wie sich nun aber die tektonischen Verhältnisse an der Ostseite der Rax nur mit Beachtung der ostwestlichen Verschiebungen auflösen lassen, so spielen dieselben auch hier im Schwarzriegeltal eine wichtige Rolle.

Dies geht soweit, daß sich die Tektonik durch ein nordsüdliches Profil überhaupt nicht mehr völlig darstellen läßt.

Ich füge deshalb eine Ansicht des Kammes Mitterberg-Gamsmauer hinzu, welche, da diese Kammstrecke von SO—NW verläuft, aus SW her gezeichnet wurde. Fig. 79.

Wir beobachten hier wieder eine prächtig ausgestattete und gut erschlossene Mulde von voralpinen Gesteinen, in die Werfener Schichten, Rauhwacken, dunkle Brecciendolomite und helle hochalpine Kalkmassen hereingeschoben sind.

Interessant ist dabei, daß die Werfener Schichten mit Rauhwacken und aschgrauen Dolomithaufen direkt auf den Hauptdolomit des Mitterbergs geschoben sind und uns so den Weg zeigen, den die Werfener Schichten des Preintales bei ihrem Vormarsch eingeschlagen haben.

Wenn man diese Verhältnisse beachtet, so kommt man wohl zu der Anschauung, daß die voralpinen Schichtmassen durch die vorgosauische Erosion stellenweise bereits bis zum Hauptdolomit abgetragen waren, denn sonst ist es nicht möglich, daß sich die Werfener Schichten hier direkt auf den Hauptdolomit haben legen können.

Eine mechanische Abscherung ist ja nach dem ganzen Ortsbild hier nicht recht wahrscheinlich.

Der Vorschub der hochalpinen Decke in die Mulde des Preintales beträgt vom Nordrande des Fegenbergs etwa $2^1/_2$ *km*, vom Sonnleitstein dagegen über 6 *km*, wobei aber die Verbiegung der voralpinen Decke samt der hochalpinen nicht mitgerechnet wurde.

Der Vorschub der hochalpinen Decke von der Rohrbacherlinie über Hengst-Puchberger Becken bis in die Mammau macht etwa 8 *km* aus.

Die Deckenreste von Mammau und Preintal befinden sich in genau derselben geographischen Breite. Es hat aber den Anschein, als ob die hochalpine Decke sich noch beträchtlich weiter gegen Norden erstreckt hätte.

Wir finden nämlich im Schwarzauer Tal beim Friedlhof inmitten einer Gegend von weißlichen Dolomitmyloniten einen auffallenden Felsen von hellem, ungeschichtetem Triaskalk, den sogenannten Urkogl.

Diese Scholle liegt über 6 *km* vom Rand der hochalpinen Schubmasse am Fegenberg gegen Norden entfernt.

Noch weiter nördlich folgt dann eine viel größere Scholle von flachliegenden Triaskalken, welche der Trauchbach entzweigeschnitten hat. Es sind unten wohlgeschichtete, oben ungeschichtete Kalke, aus denen Bittner mehrere sehr bekannte alpine Muschelkalkbrachiopoden gewonnen hat.

Auch diese Triasscholle stößt ringsum an dieselben hellen Dolomitmylonite.

Hier hätte man bereits einen Vorschub vom Fegenberg von 11—12 *km* anzunehmen, so daß sich bis in die Zone der Rohrbacherlinie eine Gesamtschubweite von zirka 20 *km* herausstellen würde.

Die nähere Untersuchung dieser Frage muß ich aber dem Fortschritt der Neuaufnahme von Blatt Schneeberg-St. Aegyd überlassen, da es ja nicht ausgeschlossen erscheint, daß die Alttriasschollen von Urkogl und Trauchbachenge aus dem Liegenden der voralpinen Decke in die Höhe geschoben worden sind.

IV. Petrographische Angaben über die exotischen Schollen und Gerölle von W. Hammer und B. Sander.

Als eine Ergänzung zu den vorgelegten Beschreibungen und Aufzählungen von exotischen Schollen und Geröllen sollen die folgenden kurzen Angaben dienen, welche etwa zu gleichen Teilen von einer ersten Durchsicht des Schliffmaterials durch meine beiden Freunde stammen, denen ich hier nochmals für die aufgewendete Mühe herzlich danke.

Es wird mit diesen Angaben nicht mehr als eine kurze Charakteristik und Übersicht angestrebt.

Über einen Teil der von mir gesammelten exotischen Gerölle hat Sander in den Verhandlungen d. k. k. G. R. A. vom Jahre 1917 — Nr. 8 selbst berichtet.

Noch früher sind von Th. Ohnesorge im Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt vom Jahre 1909 und 1912 etwas ausführlichere Untersuchungen solcher Geröllarten veröffentlicht worden.

A. Exotische Schollen.

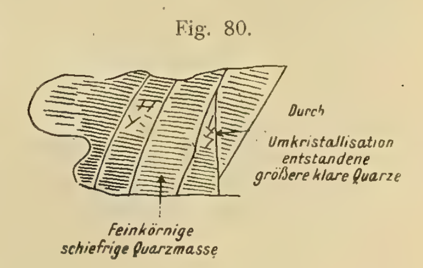
Schollen der Höfleiner Gegend.

1. Serpentinscholle von Kirchbühel bei Unter-Höflein. Serpentin mit rhombischem Pyroxen, ohne Olivin und Kalzit.

2. Serpentinscholle bei Strelzhof. Derselbe Serpentin.

3. Scholle im Zweierswald mit den Goldschürfen. Kieselschiefer breccie — stark metamorph; die kleineren Fragmente und das Bindemittel durch Sammelkristallisation des Quarzes und Serizitbildung umgewandelt.

Fig. 80.



Neugebildeter Quarz hat Neigung zu radialer (sphärolitischer) Anordnung.

Großes Fragment — Fig. 80 mit gut erhaltener Schieferung und starker Erzbestäubung.

Umkristallisation fleckenweise beginnend.

4. Stark umgewandeltes, primär klastisches Kieseltongestein derselben Scholle.

Äußerst feinkörnige Fragmente von tonhaltigem Kieselschiefer in einer gleichgearteten Bindemasse. Neubildung von Quarz und Serizit, erstere rindenartig bis sphärolithisch.

Schollen von Hinterbürg bei Ternitz.

5. Grobkörniger, grünlich-roter Verrucano = grobe Breccie mit großen Geröllen von mikrofelsitischem Quarzporphyr, außerdem Quarzgerölle. Die Gerölle sind sehr heftig an- und ineinandergepreßt. Quarzeinsprenglinge des Porphyrs zertrümmert.

6. Graues feinkörniges Gestein mit einzelnen größeren Einschlüssen = feinklastisches Gestein, vorwiegend aus Quarzsplittern bestehend mit serizitreichem Bindemittel.

Größere Einschlüsse von Quarz (wahrscheinlich Porphyrquarz), Quarzit und feinem Quarzsandstein (1 Einschluß), seltener einzelne Plagioklase, Biotitglimmerblättchen, ziemlich viel Erzkörner. Die Zusammensetzung und Form des Materials läßt annehmen, daß tuffiges Quarzporphyrmaterial wenigstens beigemischt ist.

Schollen vom Sattel westlich vom Schloß Stixenstein.

7. Grünliches Gestein. Unbestimmbare Grundmasse.

Serpentinisiertes Massengestein?

Quarz, Kalzit und Albit auf Klüften . . . Mylonit.

Schollen in der Runse nördlich vom Florianikogl.

8. Tuffitische, konglomeratische Grauwacke, umschließt Trümmer von Tonschiefer und von Quarzitgrauwacken. Deutliche Porphyrquarze in feinstkörniger serizitischer Grundmasse.

9. Tuffitische Quarzgrauwacke, gröberes Korn, überwiegend Quarzfragmente, Feldspat, wenig serizitisches Bindemittel, das teilweise vererzt ist (Magnetit?). Kataklastisch.

10. Tuffitische Quarzgrauwacke, Quarzfragmente weit überwiegend, etwas Feldspat, einzelne Glimmerschuppen, einzelne Quarzitstückchen, feinserizitisches Bindemittel. Wahrscheinlich umgelagertes Material von Porphyren und Tuffen.

Schollen vom Florianikogl bei Ternitz.

11. Aus den roten silurischen Kieselschiefern schönes rotes Gestein = roter brecciöser Kieselschiefer (Hornstein breccie), primär brecciös.

Kleine Teile des allerfeinsten Quarzaggregats liegen in einem gleichstruierten und gleichzusammengesetzten Zement, welches aber dicht mit Eisenoxyden bestäubt ist. In den Einschlüssen teilweise kompakte Knoten desselben Eisenoxyds, welche selten auch den ganzen Einschluß erfüllen. Kalzit verstreut und in kleinen Lagen.

12. Roter Kieselschiefer — primär brecciös — Lagen von organogener Natur? Radiolarien? Kieselschwämme?

13. Erzreiches, rötliches, schweres Gestein aus den Kieselschiefern.

Quarzsandstein mit sehr feinkörnig-serizitischem Bindemittel (aus Feldspat hervorgegangen?) Dicht imprägniert mit Erz.

Schollen von Wernhardt.

14. Chloritisierter Diabasporphyrit.

15. Porphyroid — Grundmasse in Quarz — Glimmer (Serizit) Aggregat umgewandelt, desgleichen die Feldspateinsprenglinge, schwachflaserig, neugebildete Quarzadern.

Scholle vom Sattel zwischen Silberberg-Auf der Wiesen.

16. Mylonit eines glimmerarmen Biotitgranits.

Schollen von Gfiederberg—Vöstenhof bei Ternitz.

17. Asbestvorkommen — Ausgangsmaterial = Zoisitamphibolit mit Nestern von Chlorit, Epidot und Zoisit, welche sehr wahrscheinlich aus Granat hervorgegangen sind.

Es bildet sich aus diesem Amphibolit oberflächlich ein wirrfaseriges Aggregat von kurz- bis langfaserigem Hornblendeasbest mit etwas Erz (Magnetit?).

18. Quarzporphyr (Porphyroid) mit stark kataklastisch deformierten Quarzeinsprenglingen und flaserig-serizitischer Grundmasse.

19. In den Gneißen von Schloß Vöstenhof liegen weiße, glimmerarme, zweiglimmrige Quarzdioritaplite.

20. Im Saugraben bei Vöstenhof stehen Muskovitgneiße und verschiedene Amphibolite an.

21. An der Nordseite des Vöstenhofer Gneißzuges liegen unmittelbar: Grünschiefer, kleinkörnig, geschiefert.

Hauptbestandteile — Epidot, Quarz, Kalzit, etwas Glimmer = Umwandlungsprodukt wahrscheinlich aus einem diabasisch-amphibolitischen Gestein.

Schollen aus der Gegend westlich von Breitensohl.

22. Quarz-Feldspat-Sandstein, sehr reich an Plagioklas, Detritus des Kristallin — undurchbewegt.

23. Sandstein mit Plagioklas und Sideritquarzkörnern.

24. Arkose (Karbon?) gequetscht — Sideritneubildung. Beteiligung von Diabas detritus.

25. Quarzbreccie, zertrümmert und verheilt, Zement mit Graphit und Eisenerz. Als Komponenten Quarzit, Quarzmylonit, Ganzquarz.

26. Gepreßter quarzreicher Tonschiefer, vielleicht selbst Werfener Schichten?

27. Felsitporphyr — etwas gepreßt — rot.

28. Felsitporphyr — Feldspat verglimmert — grüngrau.

29. Felsitporphyr — Feldspat verglimmert — Biotit vererzt — grünlich-violett.

Schollen von der Südseite der Rax.

30. Am Törlweg — Felsitporphyre — blaßrötliche — rote-grünliche — weiße. Feldspat verglimmert — Biotit vererzt — nicht durchbewegt.

Schollen aus der Puchberger Umgebung.

31. Serpentin vom Brucker Gipswerk.

Zertrümmerter und neukristallisierter Kalk mit einzelnen Serpentinfetzchen.

32. Aus Werfener Schichten vom Hauslitzsattel und Hengstsattel.

Limonitischer Siderit mit Kalzit auf Klüften.

33. Aus den Rauhwacken der Schneeberg-Ostseite.

Spateisenstein (etwas Quarz-Kalzit-Albit).

Schollen bei Ödenhof im Sierningtal.

34. Quarzsandstein, sehr feinkörnig, Bindemittel, teilweise sehr stark mit Erzstaub erfüllt. Quarzkarbonatgänge.

35. Aus Werfener Schichten von Schwarze Gründe.

Quarzchloritgrauwacke — feinkörnige, quarzreiche Arkose. Hauptbestandteil = scharfkantige Quarzkörner, daneben ziemlich viel Feldspatkörner (Ortho- und Plagioklas), Mikroklin. Ferner in Menge bräunlich grüner Chlorit, der dort und da noch Glimmerlamellen umschließt.

Chlorit nach Art einer Zwischenklemmungsmasse zwischen den anderen Körnern, auch in feine Spalten eindringend und die Quarze umrahmend. Karbonat als Infiltration, stellenweise deutlich primärklastische Struktur ohne spätere Deformation.

Schollen im Preintal bei Schwarzau.

36. Sattel südlich vom Michlbauerhof.

Diabas, frische Feldspäte, Pyroxen fast ganz umgewandelt.

37. Nördlich vom Schlagerhof. Westecke.

Diabas ohne Einsprenglinge.

38. Diabas — gröberes Korn und etwas stärkere Zersetzung. Übergang zu Diabasporphyrit.

39. Diabas — pyroxenischer Bestandteil stark zersetzt.

Nester und Adern von Kalzit und Quarz.

40. Ostecke des Vorkommens — Diabasporphyrite.

41. Dünngebänderte — blaugraue, gefaltete und quer dazu stark gestreckte Kalke mit glimmrigen Schichtflächen — heller Glimmerbeleg.

42. Mylonitischer Quarzsandstein — dunkel schiefergraues glimmerhäutiges Gestein mit rundlichen, länglichen und eckigen Quarzkörnern, eingebettet in ein feines, teilweise parallel gepreßtes Quarzaggregat. Schwache kleine Serizitflasern. Zahlreiche Klüfte und Nester erfüllt mit Quarz oder Kalzit.

Auch die großen Quarzkörner stark undulös auslöschend und vielfach seitlich in der Richtung der Schieferung in kleinkörniges, parallel gepreßtes Quarzaggregat übergehend.

B. Exotische Gosaugerölle.

Gegend südöstlich von Dreistätten.

Gerölle aus:

Breccie mit teilweise gut gerundeten Komponenten und sehr wenig kalkigem Bindemittel.

Geröllchen: dichte und körnige Kalke, Kalk mit Mikroorganismen, Quarz, Quarzit, Sandsteine (sehr feine und grobkörnigere, schiefrige mit Serizit) = Karbonbreccie?

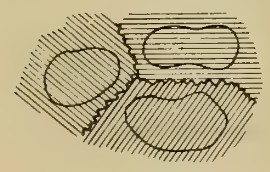
Breccie mit sehr wenig Bindemittel, Trümmer leicht gerundet, kalkiges Bindemittel. Geröllchen: hauptsächlich dichte Kalke (selten mit Mikroorganismen), Quarzkiesel, ferner Quarzsandsteine, sehr feinkörnige, glimmrige Sandsteine, Glimmerquarzite mit guter Schieferung.

Quarzit — weißgrau. Herleitung aus Sandstein, stellenweise noch in gleicher Weise sichtbar wie bei den anderen makroskopisch gleichen Stücken, aber hier mit stärkerer Umkristallisation. Etwas mehr Serizit im Zement. Gleiche Kataklase (undulöse Auslöschung — Knochennähte bis Mörtelkränze).

Quarzsandstein — quarzitisch. Zement größtenteils Quarz, daneben auch Serizit. Zementquarz vielfach umkristallisiert als Weiterwachsung der Sandsteinkörner zu größeren einheitlichen Individuen, in denen der alte Geröllumriß deutlich zu sehen ist.

Die neuen Umrisse greifen mit feiner Zahnung ineinander (bis zu Mörtelstruktur) — Fig. 81 —. Allgemein undulöse Auslöschung.

Fig. 81.



Quarzsandstein — sehr stark ausgewalzt. Klastische Struktur noch deutlich sichtbar, aber alle Gerölle platt gepreßt und dünne Serizitfasern als Zement.

Biotitgranit — feinkörnig — glimmerarm (aplitisch). Sehr gut erhalten, ohne Deformation und ohne nennenswerte Zersetzung.

Mukovitgranit — gut erhalten, ohne Deformation.

Biotitgneiß (Orthogneiß) — Biotit in kleinen Schuppen mit Epidot zusammen in Nester geschart. Wahrscheinlich Umwandlung nach Hornblende. Feldspäte etwas verglimmert, Gestein sonst frisch, ohne Kataklase.

Schieferung durch die Biotitnester angedeutet.

Biotitgranit — kataklastisch (undulöse Auslöschung und Quarzmörtel), sonst eugranitische Struktur. Feldspat ziemlich gut erhalten.

Gegend nordwestlich von Dreistätten.

Gerölle aus:

Felsophyr — rötlich (zur Gruppe D der Porphyre von Ohnesorge gehörig) mit schöner Fluidalstruktur und sphärolithischen Schlieren. Einsprenglinge aus Feldspat.

Quarzporphyr — blaßrötlich, mit viel Feldspat und wenig Quarzeinsprenglingen. Feldspäte gänzlich umgewandelt.

Neigung zu Streifenstruktur (siehe Ohnesorge).

Felsitporphyr — schwärzlich, besonders feinkörnig, viele kleine, gänzlich in Glimmer umgesetzte Einsprenglinge (Orthoklas wahrscheinlich).

Gegend von Eichberg bei Bruck—Puchberg.

Gerölle aus:

Diabas Mandelstein.

Diabasporphyrit (Mandelstein).

Diabas — geschiefert — Grünschiefer.

Amphibolit.

Amphibolit — (Epidot-Titanit) frisch.

Granatamphibolit (Granat chloritisiert).

Amphibolit — chloritisiert.

Diabasbreccie mit Magneteisenzement.

Chloritschiefer.

Die Amphibolite haben den Typus des Altkristallinen.

Die Diabase (Melaphyre) haben meist unversehrte Struktur.

Einige Diabase sind zu Grünschiefer verschiefert.

Gabbro — Bronzitgabbro — sehr stark umgewandelt, doch ohne mechanische Deformation, monokliner und rhombischer Pyroxen (Bronzit), größtenteils amphibolisiert, vielleicht auch primäre Hornblende, Feldspäte gänzlich saussuritisiert.

Gabbro — Bronzitgabbro — stärker umgewandelt als der frühere.

Gabbro — Amphibolit (Granat-Zoisit).

Miesenbachtal.

Die exotischen Gerölle zeigen hier nach Sander nur als seltenste Ausnahme tektonisch beanspruchte Strukturen.

Gerölle aus:

Diabasmandelstein — unversehrt und frisch.

Diabas mit Plagioklasgebälk zersetzt.

Diabastuffe — wahrscheinlich hiehergehöriger Amphibolit mit Pressung.

Felsitporphyre.

Amphibolit.

Granatamphibolit — eklogitisch nicht Tauerntypus.

Arkosen.

Oolithe, Kalke mit Fossilspuren, Radiolit.

Voistal.

Gerölle aus:

Felsitporphyr — dicht, fluidal, mit Einsprenglingen von Schachbrettalbit (beziehungsweise Albit und Kalzit als Umwandlung zwischen basischerem Plagioklas).

Das Gerölle ist eingeschlossen in einer feinen Breccie, welche Fragmente aus dem Porphyr (zum Teil Feldspäte) enthält neben anderen Fragmenten von Quarz, Quarzsandstein in einem kalkigen Bindemittel, viel Bindemittel.

Granitaplit — grobkörniges Aggregat von Quarz, Mikroperthit und Schachbrettalbit in grobschriftgranitischer Verwachsung.

Felsitporphyr — mit Schachbrettalbit und Kalifeldspat als Einsprengling und granophirischer, stellenweise sphärolithisch-granophirischer Grundmasse.

Quarzporphyrtuff.

Dioritporphyrit mit quarzreicher Grundmasse und neben Plagioklas als Einsprengling auch Nester von Chlorit nach Biotit oder Hornblende als Einsprengling.

Quarzit — eisenschüssig — grellrot — Eisenkiesel — feines Quarzaggregat mit Eisenoxyd gefärbt, stellenweise Ansammlungen von kompaktem Eisenerz. Sehr stark zerklüftet und die Klüfte mit Kalzit erfüllt.

Grünschiefer oder Grauwacke — stark umgewandeltes grünliches, flaseriges Gestein, vorwiegend aus Quarz, Kalzit, Epidot, ferner Plagioklas, Zoisit, Chlorit mit Queradern von Quarz und Kalzit. (In letzterem Nester winziger Chloritkristallchen, welche oft wurmförmig gekrümmt sind: Helminth?)

Schlagerhofgraben.

Blöcke hinter dem Diabasvorkommen aus:

Breccie — fein — kalkiges Bindemittel mit Geröllchen aus Kalk, Quarzit, Quarzsandstein, Quarzkiesel (teilweise sehr Prophyrquarzen ähnlich), feinkörniger Breccie mit Foraminiferen, Serpentin, Kalkoolith, Schalenfragmenten.

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE GEZEITENERSCHEINUNGEN IN MITTEL- UND RANDMEEREN, IN BUCHTEN UND KANÄLEN

I. TEIL: DIE METHODEN DER UNTERSUCHUNG
II. TEIL: DIE GEZEITEN DES ROTEN MEERES
III. TEIL: DIE GEZEITEN DES PERSISCHEN GOLFES UND DER MEERENGE VON HORMUS

VON

DR. ALBERT DEFANT

MIT 32 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 25. APRIL 1918

I. Teil.

Die Methoden der Untersuchung.

1. Einleitung.

Außerordentlich mannigfach sind die Gezeitenerscheinungen an den reichgegliederten Küsten der Ozeane; die Randmeere, die Meerbusen, die Golfe, Buchten und Kanäle haben oft Gezeiten, die scheinbar nur einen geringen Zusammenhang mit den Gezeiten des Ozeans aufweisen, mit welchem sie in Verbindung stehen. Oft ist dieser Zusammenhang so lose, daß man den mehr abgeschlossenen Wassermassen eine eigene, vom Ozean völlig unabhängige Ebbe und Flut zuspricht; in anderen Fällen sind dagegen die Gezeitenwellen offenkundig dem Ozean direkt entlehnt. Auch der Typus der Gezeiten ändert sich manchmal innerhalb der Randmeere oder beim Übergang vom äußeren Meere zum inneren an den einzelnen Stationen nahezu sprunghaft, ohne daß man plausible Gründe für die Änderung anzugeben vermöchte.

Die Erklärung, die bisher für die Gezeitenerscheinungen einzelner Nebenmeere, für die Ebbe und Flut der Mittel- und Randmeere, der Buchten und Kanäle gegeben wurden, befriedigen bei ihrer näheren Betrachtung zumeist wenig; es fehlen in ihnen oft die zwingenden Gründe, die alle anderen Erklärungsversuche ausschließen; überdies ist die Übereinstimmung zwischen den beobachteten Tatsachen und den aus dem Erklärungsversuch sich ergebenden Folgerungen nur in den einzelnen Punkten befriedigend; in einzelnen fehlt sie direkt. Von zahlreichen Küstenorten der meisten der sekundären Ozeanbildungen liegen Beobachtungsergebnisse über die Gezeitenerscheinungen vor, da diese ja für den

Seemann von großer praktischer Bedeutung sind; allerdings haben bisher nur wenige dieser Beobachtungen eine nähere Bearbeitung durch die harmonische Analyse erfahren; doch genügt für die Untersuchung der Haupterscheinung zumeist die Kenntnis der Hafenzeit und der Hubhöhe zur Zeit der Syzygien. Mittels dieser zwei Größen kann die Schwingungsform des betrachteten Nebenmeeres in ihren Hauptzügen festgelegt werden; falls von einzelnen Punkten noch die Ergebnisse der harmonischen Analyse der Flutbeobachtungen vorliegen, so gelingt es in den meisten Fällen, eine in der Hauptsache befriedigende Orientierung über die Gezeiten des Nebenmeeres zu gewinnen.

Zur Erklärung der Tatsachen wurden bisher nahezu ausschließlich fortschreitende Wellen in Betracht gezogen, die vom Ozean aus durch die zumeist enge Meeresstraße in die Nebenmeere eindringen und hier durch Reflexionen und Interferenzen die beobachteten Gezeiten hervorrufen sollten. Mit stehenden Wellen wurde nur wenig operiert und diese zur Erklärung der Erscheinungen nur dort herangezogen, wo in der Verteilung der beobachteten Hubhöhen das auffallende Vorhandensein einer Knotenlinie dazu direkt zwang. Daß aber gerade die stehenden Wellen, welche zum Teil selbständig, zum Teil unter Einwirkung der Gezeitenbewegung im äußeren Ozean in den Nebenmeeren zweifellos zur Ausbildung gelangen, zur Erklärung der Gezeitenerscheinungen in den letzteren von außerordentlicher Wichtigkeit sind, beweisen die in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen über die Gezeiten des europäischen Mittelmeeres, des Adriatischen Meeres und des Schwarzen Meeres. In den vorbildlichen Untersuchungen R. v. Sterneck's und in einigen Arbeiten des Verfassers sind die wissenschaftlichen Arbeitsmethoden zur Untersuchung der Gezeitenerscheinungen in Nebenmeeren zum Teil niedergelegt. Sie lassen eine nähere Untersuchung der Gezeitenerscheinungen auch anderer Nebenmeere als sehr aussichtsreich erscheinen; allerdings beruhen diese Untersuchungsmethoden völlig auf dem Zustandekommen stehender Wellen in der mehr oder minder abgeschlossenen Wassermasse der Nebenmeere und berücksichtigen nicht den Einfluß eventuell vorhandener fortschreitender Wellen, die durch die Verbindungsstraße vom äußeren Ozean in diese eindringen. Der Vergleich der theoretischen, bloß auf stehende Schwingungen beruhenden Gezeiten eines Nebenmeeres mit den tatsächlich beobachteten wird lehren, inwieweit solche fortschreitende Wellen überhaupt in Betracht kommen und zur Erklärung der beobachteten Tatsachen notwendig sind. Schon jetzt kann aber behauptet werden, daß sie in vielen Fällen dazu nicht notwendig sind und daß fortschreitende Wellen in Nebenmeere und Kanäle nicht ohne weiteres einzudringen vermögen, wie bisher angenommen wurde.

In folgenden Abhandlungen wurden die Gezeitenerscheinungen verschiedener Nebenmeere, soweit über diese genügend Beobachtungen zur Verfügung stehen, nach ähnlichen Methoden wie jene, die im Mittelmeere und im Adriatischen Meere zur Anwendung gelangten, untersucht. Es dürfte wohl nicht unangebracht sein, diesen Untersuchungen die noch wenig bekannten Untersuchungsmethoden, ohne deren Kenntnis die folgenden Abschnitte unverständlich bleiben, in einem eigenen Abschnitte in etwas gedrängter Form wiederzugeben; in diesem Abschnitte dürfte manches in der dargelegten Form neu sein.

Von besonderer Wichtigkeit für die Ausbildung erzwungener stehender Schwingungen einer abgeschlossenen Wassermasse ist die Kenntnis ihrer Eigenperiode. Wir wollen deshalb zunächst eine Übersicht über die Methoden, mittels welcher die Eigenperiode abgeschlossener Wassermassen ermittelt wird, geben.

2. Methoden zur Berechnung der Eigenperiode abgeschlossener Wassermassen.

In jedem See, in jeder Meeresbucht, kurz in jeder mehr oder minder abgeschlossenen Wassermasse treten Schwingungen auf, deren Schwingungsdauer nur von den äußeren Bedingungen, unter denen die Wassermasse steht, vor allem von der orographischen Beschaffenheit des Seebeckens oder der Meeresbucht, das ist von deren Breiten- und Tiefenverhältnissen abhängen. Diese Schwingungen

bestimmter Periode, die man namentlich bei kleineren abgeschlossenen Wassermassen (Seen) Seiches genannt hat, sind freie Schwingungen und treten ohne Einwirkung äußerer Kräfte auf. Die Größe ihrer Amplitude hängt von mannigfachen Umständen ab und dürfte nur selten größere Beträge erreichen. Nach R. Merian ist die Periode der Eigenschwingungen für ein Gefäß mit überall gleichem rechteckigen Querschnitt von der Länge l und der Tiefe h gegeben durch die Formel

$$1)\qquad T_n = \frac{2l}{n\sqrt{gh}} \qquad n = 1, 2, 3\ldots$$

n gibt die Anzahl der Knotenlinien der Schwingungen; daraus folgt als Periode T_1 der wichtigsten der Schwingungen, der einknotigen Schwingung mit einer Knotenlinie in der Mitte des Gefäßes zu

$$T_1 = \frac{2l}{\sqrt{gh}}.$$

In der Natur handelt es sich zumeist um mehr oder minder unregelmäßig gestaltete Becken. Die Anwendung der Merian'schen Formel, in welcher auf die wechselnden Breiten- und Tiefenverhältnisse der Becken keine Rücksicht genommen ist, kann nur Zahlenwerte für die Eigenperiode der abgeschlossenen Wassermasse geben, die bloß eine erste, rohe Annäherung an die Wirklichkeit bedeuten.

A. Die Chrystal'sche Methode.

Eine umfassende Theorie stehender Wellen in unregelmäßig geformten Gefäßen hat zuerst Chrystal[1] gegeben. Chrystal geht hiebei von den hydrodynamischen Grundgleichungen aus, die in diesem Falle folgende Form annehmen: Legt man die x-Achse des Koordinatensystems in die ungestörte Oberfläche der Wassermasse, womöglich in die Richtung des Talweges des »Sees«, die y-Achse senkrecht dazu, positiv nach oben, bezeichnet ferner mit $b(x)$ die Breite und mit $S(x)$ die senkrecht zur x-Achse gelegte Querschnittsfläche an dieser Stelle des Sees, dann mit ξ und η die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen, so liefern die oben erwähnten Gleichungen die Beziehungen

$$2)\qquad \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = g\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{b(x)}\cdot\frac{\partial S(x)\xi}{\partial x}\right] = -g\frac{\partial \eta}{\partial x}$$

und

$$3)\qquad \eta = -\frac{1}{b(x)}\frac{\partial}{\partial x}S(x)\xi.$$

Man definiert nun zwei neue Veränderliche $u = S(x)\,\xi$ und $v = \int_0^x b(x)\,dx$, so wird aus Gleichung 2) die Gleichung

$$4)\qquad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = g\sigma(v)\frac{\partial^2 u}{\partial v^2}$$

worin $\sigma(v) = S(x)\,b(x)$ ist, während Gleichung 3 die Form

$$5)\qquad \eta = -\frac{\partial u}{\partial v}$$

annimmt.

Für einen See konstanter Breite b und rechteckigen, jedoch variablen Querschnittes $bh(x)$ erhalten die Gleichungen 4) und 5) die Form

$$4')\qquad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = gh(x)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad \text{und } 5')\quad \eta = -\frac{\partial u}{\partial x},$$

wobei $u = h(x)\,\xi$ ist.

---

[1] Trans. R. Soc. Edinburgh 1905, B. 41, III. Teil, Nr. 25.

Die Gleichungen 4′ und 5′ sind identisch mit den früheren 3 und 4, wenn wir an Stelle von x die Variable v setzen. Man kann demnach die Schwingungsverhältnisse eines beliebig geformten Sees mittels der Gleichungen 4 und 5 genau so untersuchen, wie wenn $\sigma(v)$ der Talweg des Sees wäre. Die Schwingungsform ist dieselbe wie die eines Sees konstanter Breite mit dem Talweg $\sigma(v)$. Die Kurve $\sigma(v)$, die man aus den zwei Veränderlichen v, das ist die Oberfläche des Sees, von einem Ende bis zum Querschnitt $S(x)$ und $\sigma(v)$, das ist dem Produkt aus der Querschnittsfläche $S(x)$ in die Breite $b(x)$ des Sees an dieser Stelle, erhält, nennt Chrystal die Normalkurve des Sees. Die weitere Aufgabe der Theorie geht dahin, die Normalkurve mathematisch fixierbaren Kurven anzuschließen. Für die allgemeinsten Fälle wollen wir hier die Lösung angeben.

ξ und η werden periodische Funktionen der Zeit sein; der Einfachheit halber sei $u = P\cos(nt + \varepsilon)$, dann gibt die Gleichung 4 für P die Beziehung

$$\text{6)} \qquad \frac{d^2 P}{d v^2} + \frac{n^2}{g\sigma(v)} P = 0.$$

Es kommt daher in allen speziellen Fällen auf die Lösung dieser Differentialgleichung an.

1. Die Normalkurve besteht aus Geraden. Dann kann stückweise $\sigma(v) = h\left(1 - \frac{v}{a}\right)$ gesetzt werden, wobei a konstant, positiv oder negativ ist, je nachdem in der Richtung der zunehmenden x die Gerade ansteigt oder abfällt. Die Differentialgleichung 6 hat dann die Form

$$\text{7)} \qquad \frac{d^2 P}{d v^2} + \frac{n^2}{gh\left(1 - \frac{v}{a}\right)} P = 0.$$

Setzt man

$$w = \frac{2na}{\sqrt{gh}} \sqrt{1 - \frac{v}{a}},$$

so geht Gleichung 7 in die Gleichung 8 über, welche die allgemeine Form der Differentialgleichung der Zylinderfunktionen erster Ordnung ist.

$$\text{8)} \qquad \frac{d^2 R}{dw^2} + \frac{1}{w}\frac{dR}{dw} + \left(1 - \frac{1}{w^2}\right) R = 0.$$

Die Lösung ist demnach $R = AJ_1(w) + BY_1(w)$. A und B sind willkürliche Konstante. Die allgemeine Lösung des Problems ergibt sich daraus durch die zwei Gleichungen[1]

$$\xi w = \frac{2a}{h}\left[AJ_1(w) + BY_1(w)\right]\cos(nt + \varepsilon)$$

$$\eta = \left[AJ_0(w) + BY_0(w)\right]\cos(nt + \varepsilon).$$

Die Konstanten A und B bestimmen sich in den einzelnen Fällen aus den Grenzbedingungen.

1. Fall. Die Normalkurve besteht aus zwei aneinanderstoßenden gestutzten Dreiecken (Fig. 1). Die Gleichung der Geraden $\overline{BA}$ und $\overline{BA'}$ lauten $\sigma(v) = h\left(1 - \frac{v}{a}\right)$, beziehungsweise $\sigma(v) = h\left(1 + \frac{v}{a'}\right)$.

[1] Bei Chrystal steht in der Originalabhandlung der Faktor $\frac{2a}{h}$ in der zweiten Gleichung; dies dürfte ein Rechenfehler sein; denn dann ist die Beziehung $\eta = -\frac{\partial u}{\partial v}$ nur bis auf einen konstanten Faktor erfüllt; die Vernachlässigung derselben ist aber hier nicht erlaubt. Dadurch ändern sich in der Originalabhandlung zum Teil auch die folgenden Gleichungen für die allgemeine Anwendung der Lösung.

Setzt man

$$w = \frac{2na}{\sqrt{gh}}\sqrt{1-\frac{v}{a}} \quad \text{und} \quad w' = \frac{2na'}{\sqrt{gh}}\sqrt{1+\frac{v}{a'}}$$

$$\alpha = \frac{2a}{\sqrt{gh}}, \quad \beta = \frac{2a}{\sqrt{gh}}\sqrt{1-\frac{p}{a}} \quad \text{und} \quad \alpha' = \frac{2na'}{\sqrt{gh}}, \quad \beta' = \frac{2a'}{\sqrt{gh}}\sqrt{1-\frac{p'}{a}}$$

und führt die Grenzbedingungen ein: im Punkte A $\xi = 0$ für $v = p$ und $\xi' = 0$ für $v = -p'$ im Punkte A' und $\xi = \xi'$, $\eta = \eta'$ für $v = 0$ im Punkte O, so erhält man die Lösung in der Form

$$w\,\xi = \frac{2a^2}{h} A \frac{Y_1(n\beta)\, J_1(w) - J_1(n\beta)\, Y_1(w)}{Y_1(n\beta)\, J_1(n\alpha) - J_1(n\beta)\, Y_1(n\alpha)} \cos(nt+\varepsilon)$$

und

$$\eta = A \frac{Y_1(n\beta)\, J_0(w) - J_1(n\beta)\, Y_0(w)}{Y_1(n\beta)\, J_1(n\alpha) - J_1(n\beta)\, Y_1(n\alpha)} \cos(nt+\varepsilon)$$

$$w'\,\xi' = -\frac{2a'^2}{h} A \frac{Y_1(n\beta')\, J_1(w') - J_1(n\beta')\, Y_1(w')}{Y_1(n\beta')\, J_1(n\alpha') - J_1(n\beta')\, Y_1(n\alpha')} \cos(nt+\varepsilon)$$

und

$$\eta' = A \frac{Y_1(n\beta')\, J_0(w') - J_1(n\beta')\, Y_0(w')}{Y_1(n\beta')\, J_1(n\alpha') - J_1(n\beta')\, Y_1(n\alpha')} \cos(nt+\varepsilon).$$

Für n gilt noch die Beziehung

$$a'[Y_1(n\beta)\, J_0(n\alpha) - J_1(n\beta)\, Y_0(n\alpha)]\,[Y_1(n\beta')\, J_1(n\alpha') - J_1(n\beta')\, Y_1(n\alpha')] +$$
$$a\,[Y_1(n\beta')\, J_0(n\alpha') - J_1(n\beta')\, Y_0(n\alpha')]\,[Y_1(n\beta)\, J_1(n\alpha) - J_1(n\beta)\, Y_1(n\alpha)] = 0.$$

Die Wurzeln dieser Gleichung geben, da $T = \frac{2\pi}{n}$ ist, die Periode der freien Schwingungen.

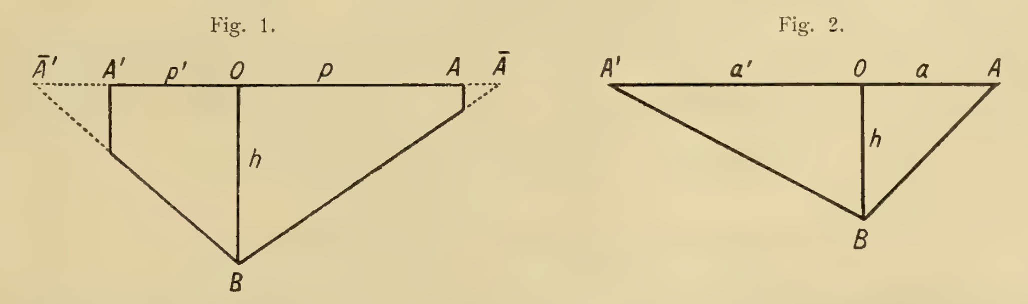
2. Fall. Lauft bei A und A' der See spitz aus (Fig. 2), so ist $\beta = \beta' = 0$ und da $\lim\limits_{w=0} \frac{J_1(w)}{Y_1(w)} = 0$ ist, reduzieren sich die Gleichungen auf

$$w\,\xi = \frac{2a^2}{h} A \frac{J_1(w)}{J_1(n\alpha)} \cos(nt+\varepsilon) \quad \text{und} \quad \eta = A \frac{J_0(w)}{J_1(n\alpha)} \cos(nt+\varepsilon).$$

Analoge Gleichungen gelten für ξ' und η'.

Die Periodengleichung erhält die Form $a'\, J_0(n\alpha)\, J_1(na') + a\, J_0(na')\, J_1(na) = 0$.

Für den Teil OA geben die Wurzeln der Gleichung $J_0(w) = 0$, für den OA' die Wurzeln der Gleichung $J_0(w') = 0$ die Lage der Knotenlinien. Für die folgenden Untersuchungen ist es vielleicht



nützlich, die positiven Wurzeln der Gleichung $J_0(x) = 0$, die wir mit j_1, j_3, j_5 usw. bezeichnen, und die positiven Wurzeln von $J_1(x) = 0$, die wir mit j_2, j_4, j_6 usw. bezeichnen, anzuführen; es ist

$$j_1 = 2{\cdot}405, \quad j_2 = 3{\cdot}832, \quad j_3 = 5{\cdot}520, \quad j_4 = 7{\cdot}016$$
$$j_5 = 8{\cdot}654, \quad j_6 = 10{\cdot}173, \quad j_7 = 11{\cdot}792, \quad j_8 = 13{\cdot}233.$$

3. Fall. Ist der See auf beiden Seiten von O symmetrisch, so wird $a = a'$ und

$$w\xi = \frac{2a^2}{h} A J_1(w) \cos(nt + \varepsilon) \quad \text{und} \quad \eta = A J_0(w) \cos(nt + \varepsilon).$$

Die Periodengleichung zerfällt in die zwei Teile $J_0(n\alpha) = 0$ und $J_1(n\alpha) = 0$, so daß

$$T_n = \frac{4\pi}{j_n \sqrt{gh}}.$$

Für die Ermittlung der Eigenschwingungen von Meeresbuchten und einseitig geschlossenen Kanälen sind die folgenden Fälle von besonderer Wichtigkeit:

4. Fall. Hat die zum Teil abgeschlossene Wassermasse die Normalkurve der Figur 3, so lauten die Grenzbedingungen: $\xi = 0$ für $v = 0$ und $v = p$ und es wird

$$w\xi = \frac{2a}{h} A\left[Y_1(n\alpha) J_1(w) - J_1(n\alpha) Y_1(w)\right] \cos(nt + \varepsilon)$$

$$\eta = A\left[Y_1(n\alpha) J_0(w) - J_1(n\alpha) Y_0(w)\right] \cos(nt + \varepsilon).$$

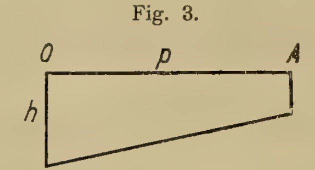
Die Periodengleichung hat die Gestalt $Y_1(n\alpha) J_1(n\beta) - J_1(n\alpha) Y_1(n\beta) = 0$.

5. Fall. Läuft bei Figur 3 bei A das Dreieck spitz aus, so gelten folgende Gleichungen:

$$w\xi = \frac{2a}{h} A J_1(w) \cos(nt + \varepsilon) \quad \text{und} \quad \eta = A J_0(w) \cos(nt + \varepsilon)$$

und die Periodengleichung nimmt die Form $J_1(n\alpha) = 0$ an; daraus folgt $T = \frac{2\pi}{n} = \frac{4\pi a}{j_{2n}\sqrt{gh}}$.

Fig. 3.



2. Die Normalkurve besteht aus konkaven Parabelstücken. Dann ist $\sigma(v) = h\left(1 - \frac{v^2}{a^2}\right)$ und aus Gleichung 6 folgt, wenn $w = \frac{v}{a}$ und $c = \frac{n^2 a^2}{gh}$ gesetzt wird,

$$\frac{d^2 P}{dw^2} + \frac{c}{1 - w^2} P = 0. \tag{8}$$

Die allgemeine Lösung dieser Differentialgleichung lautet

$$P = AC(c, w) + BS(c, w). \tag{9}$$

Die transzendenten Funktionen $C(c, w)$ und $S(c, w)$ sind durch folgende Reihen definiert:

$$C(c, w) = 1 - \frac{c}{1.2} w^2 + \frac{c(c - 1.2)}{1.2 \times 3.4} w^4 - \ldots$$

$$S(c, w) = w - \frac{c}{2.3} w^3 + \frac{c(c - 2.3)}{2.3 \times 4.5} w^5 - \ldots$$

Sie führen den Namen Seiche cosinus und Seiche sinus; für sie gilt, wenn man mit C' und S' die Differentialquotienten von C und S nach w bezeichnet, die Grundgleichung

$$C(c, w) S'(c, w) - C'(c, w) S(c, w) = 1, \tag{10}$$

die an die analoge Beziehung $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ der Kreisfunktionen erinnert.

1. Fall. Konkavparabolisches symmetrisches Becken (Fig. 4). Die Gleichung der Normalkurve ist

$$\sigma(v) = h\left(1 - \frac{v^2}{a^2}\right).$$

Aus Gleichung 8) folgen für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen die Beziehungen

$$h(1-w^2)\,\xi = u = [AC(c,w) + BS(c,w)]\cos(nt+\varepsilon)$$

und

$$\eta = -\frac{\partial u}{\partial v} = -\frac{1}{a}\frac{du}{dw} = -\frac{1}{a}[AC'(c,w) + BS'(c,w)]\cos(nt+\varepsilon).$$

Die Grenzbedingungen sind $\xi = 0$ für $v = \pm a$ oder $w = \pm 1$. Da nun $C(c,-1) = C(c,1)$ und $S(c,-1) = -S(c,1)$ ist, zerfällt die Bedingungsgleichung für A und B in zwei Teile $AC(c,1) = 0$ und $BS(c,1) = 0$. Aus Gleichung 10) ersieht man, daß $C(c,1)$ und $S(c,1)$ nicht gleichzeitig Null werden; also ist entweder $B = 0$ und $C(c,1) = 0$ oder $A = 0$ und $S(c,1) = 0$. Die Wurzeln von $C(c,1) = 0$ sind $c_1 = 1\cdot 2$, $c_3 = 3\cdot 4 \ldots c_{2s-1} = (2s-1)\,2s$ und von $S(c,1) = 0$ hingegen $c_2 = 2\cdot 3$, $c_4 = 4\cdot 5 \ldots c_{2s} = 2s(2s+1)$. Die Lösung erhält also die zwei Formen:

$$\xi = \frac{A}{h(1-w^2)} C(c_{2s-1}, w)\cos(n_{2s-1}t+\varepsilon) \quad \text{und} \quad \xi = \frac{B}{h(1-w^2)} S(c_{2s}, w)\cos(n_{2s}t+\varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{A}{a} C'(c_{2s-1}, w)\cos(n_{2s-1}t+\varepsilon) \qquad \eta = -\frac{B}{a} S'(c_{2s}, w)\cos(n_{2s}t+\varepsilon).$$

Für die Periode der s-knotigen Schwingung erhält man

$$T_s = \frac{2\pi}{n_s} = \frac{2\pi a}{\sqrt{c_s gh}} = \frac{2\pi a}{\sqrt{s(s+1)gh}} \qquad s = 1, 2, 3 \ldots$$

2. Fall. Konkavparabolisches, nicht symmetrisches Becken (Fig. 5). Für den Teil OA beziehungsweise OA' hat die Normalkurve die Form $\sigma(v) = h\left(1 - \frac{v^2}{a^2}\right)$ beziehungsweise

$$\sigma(v) = h\left(1 - \frac{v^2}{a'^2}\right).$$

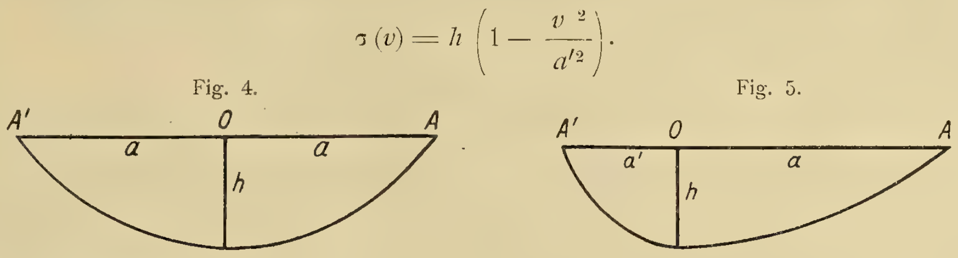


Fig. 4. Fig. 5.

Bezeichnen wir wieder

$$w = \frac{v}{a},\quad w' = \frac{v}{a'},\quad c = \frac{n^2 a^2}{gh} \text{ und } c' = \frac{n^2 a'^2}{gh},$$

so lautet die Lösung der Differentialgleichungen:

$$\xi h(1-w^2) = [AC(c,w) + BS(c,w)]\cos(nt+\varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{1}{a}[AC'(c,w) + BS'(c,w)]\cos(nt+\varepsilon)$$

und

$$\xi' h(1-w'^2) = [A'C(c',w') + B'S(c',w')]\cos(nt+\varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{1}{a'}[A'C'(c',w') + B'S'(c',w')]\cos(nt+\varepsilon).$$

Die Grenzbedingungen sind $\xi = 0$ für $w = +1$ und $\xi' = 0$ für $w' = -1$, weiters $\xi = \xi'$ und $\eta = \eta$ für $w = w' = 0$. Aus der letzten Bedingung folgt $A = A'$ und $\frac{B}{a} = \frac{B'}{a'}$ und mit Berücksichtigung dieser aus der ersten: $AC(c,1) + BS(c,1) = 0$ und $aAC(c',1) - a'BS(c',1) = 0$. Aus diesen ergibt sich

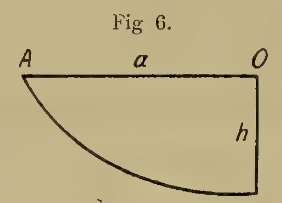
$B = -A\dfrac{C(c,1)}{S(c,1)}$ und die Periodengleichung $a'\,C(c,1)\,S(c',1) + a\,C(c',1)\,S(c,1) = 0$. Die c-Wurzeln dieser Gleichung liefern bestimmte Werte für n und damit aus $\dfrac{2\pi}{n} = T$, die Periode der Schwingung. Die Gleichungen für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen nehmen dann die Form an:

$$\xi h\,(1-w^2) = \frac{A}{S(c,1)}\,[S(c,1)\,C(c,w) - C(c,1)\,S(c,w)]\cos(nt+\varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{A}{a\,S(c,1)}\,[S(c,1)\,C'(c,w) - C(c,1)\,S'(c,w)]\cos(nt+\varepsilon)$$

und analoge Gleichungen für ξ' und η'.

Fig 6.



3. Fall. Für Meeresbecken ist die halbparabolische konkave Beckenform (Fig. 6) von Wichtigkeit. Die entsprechenden Gleichungen für die Verschiebungen der Wasserteilchen sind:

$$\xi = \frac{B}{h\,(1-w^2)}\,S(c_{2s}, w)\cos(n_{2s}t+\varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{B}{a}\,S'(c_{2s}, w)\cos(n_{2s}t+\varepsilon),$$

worin $c_{2s} = 2s\,(2s+1)$ die Wurzeln der Gleichung $S(c,1) = 0$ sind. Die Periode der s-knotigen Schwingung ist:

$$T_s = \frac{2\pi a}{\sqrt{2s\,(2s+1)\,gh}}.$$

3. Die Normalkurve besteht aus konvexen Parabelstücken. Dann ist $\sigma(v) = h\left(1+\dfrac{v^2}{a^2}\right)$ und aus 6 folgt, wenn wieder $w = \dfrac{v}{a}$ und $c = \dfrac{n^2a^2}{gh}$ ist

$$\frac{d^2P}{dw^2} + \frac{c}{1+w^2}\,P = 0. \tag{11}$$

Die Lösung dieser Differentialgleichung führt auf transzendente Funktionen, und zwar

$$\mathfrak{C}(c,w) = 1 - \frac{c\,w^2}{1.2} + \frac{c\,(c+1.2)}{1.2\times 3.4}\,w^4 + \ldots$$

$$\mathfrak{S}(c,w) = w - \frac{c\,w^3}{2.3} + \frac{c\,(c+2.3)}{2.3\times 4.5}\,w^5 + \ldots$$

denen Chrystal die Namen hyperbol. seiche cos und hyperbol. seiche sin gegeben hat und die eine der Gleichung 10 analoge Beziehung erfüllen. Die allgemeine Lösung der Gleichung 11 lautet dann

$$P = A\,\mathfrak{C}(c,w) + B\,\mathfrak{S}(c,w).$$

1. Fall. Konvexparabolisches symmetrisches Becken (Fig. 7). Die Gleichungen für die Verschiebungen der Wasserteilchen sind

$$\xi h\,(1+w^2) = u = [A\,\mathfrak{C}\,(c, w) + B\mathfrak{S}\,(c, w)]\cos(nt+\varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{1}{a}\,[A\,\mathfrak{C}'\,(c, w) + B\mathfrak{S}'\,(c, w)]\cos(nt+\varepsilon).$$

Analog dem Falle bei konkavparabolischen symmetrischen Becken zerfällt die Lösung bei Berücksichtigung der Grenzbedingungen in zwei Teile und zwar

$$\xi = \frac{A}{h\,(1+w^2)}\,\mathfrak{C}\,(\mathfrak{c}_{2s-1}, w)\cos(n_{2s-1}t+\varepsilon) \qquad \xi = \frac{B}{h\,(1+w^2)}\,\mathfrak{S}\,(\mathfrak{c}_{2s}, w)\cos(n_{2s}t+\varepsilon)$$

oder

$$\eta = -\frac{A}{a}\,\mathfrak{C}'\,(\mathfrak{c}_{2s-1}, w)\cos(n_{2s-1}t+\varepsilon) \qquad \eta = -\frac{B}{a}\,\mathfrak{S}'\,(\mathfrak{c}_{2s}, w)\cos(n_{2s}t+\varepsilon).$$

worin

$\mathfrak{c}_1, \mathfrak{c}_3 \ldots \mathfrak{c}_{2s-1}$ die Wurzeln von $\mathfrak{C}\,(c, 1) = 0$ und

$\mathfrak{c}_2, \mathfrak{c}_4 \ldots \mathfrak{c}_{2s}$ die Wurzeln von $\mathfrak{S}\,(c, 1) = 0$ bedeuten.

Die Periode der s-knotigen Schwingung ist

$$T_s = \frac{2\pi a}{\sqrt{\mathfrak{c}_s\,gh}}.$$

Die numerischen Werte für $\mathfrak{c}_s$ hat Halm[1] berechnet, und zwar fand er

$$\mathfrak{c}_1 = 2\cdot 74, \quad \mathfrak{c}_2 = 12\cdot 34, \quad \mathfrak{c}_3 = 28\cdot 23$$

$$\mathfrak{c}_4 = 50\cdot 46, \quad \mathfrak{c}_5 = 79\cdot 05.$$

2. Fall. Halbparabolisch konvexe Beckenform (Fig. 8). Die Lösung ist

$$\xi = \frac{A}{h\,(1+w^2)}\,\mathfrak{S}\,(\mathfrak{c}_{2s}, w)\cos(n_{2s}t+\varepsilon),$$

$$\eta = -\frac{A}{a}\,\mathfrak{S}'\,(\mathfrak{c}_{2s}, w)\cos(n_{2s}t+\varepsilon),$$

die Periode der einknotigen Schwingung ist

$$T = \frac{2\pi a}{\sqrt{12\cdot 34\,gh}} = \frac{2\pi a}{3\cdot 51\sqrt{gh}}.$$

Mit den hier mitgeteilten allgemeinen Lösungen dürfte man in den meisten Fällen bei der Ermittlung der Eigenperiode von abgeschlossenen Wassermassen nach der Chrystal'schen Methode

Fig. 7.

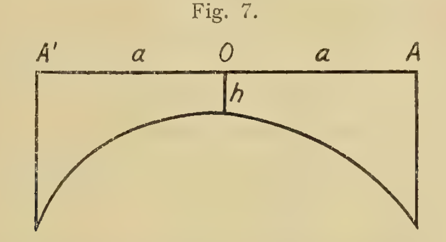
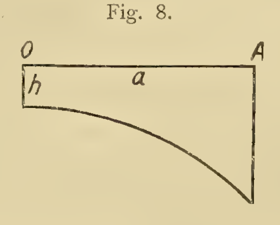


Fig. 8.



auskommen. Natürlich besteht keine Schwierigkeit, die Lösung für Normalkurven, die aus verschiedenen Stücken von konkaven und konvexen Parabeln und Geraden zusammengesetzt sind, abzuleiten. Allerdings werden die Formeln umständlich und die Berechnung der Schwingungsdauer aus der Periodengleichung eine langwierige Sache. Die Schwierigkeiten sind aber nur rechnerischer Natur.

[1] On a group of linear differential equations of the 2nd order etc. Transac. of. roy. soc. of Edinburgh, 41. B., III. Teil, 1904—05.

B. Die Japanische Methode.

Diese Methode beruht auf einer von den Japanern Honda, Terada und Isitani[1] abgeleiteten Schwingungsformel, die diese hauptsächlich dazu benützten, um die Schwingungsdauer von Meeresbuchten zu berechnen. Sie ist in ihrer Handhabung einfacher als die Chrystal'sche Methode, doch weniger umfassend als letztere. Sie gibt nur die Schwingungsdauer, nicht aber die Schwingungsform der stehenden Welle und sagt daher nichts über die Lage der Knotenlinie aus. Ihre Ableitung geht von ganz anderen Gesichtspunkten aus als die Chrystal'sche hydrodynamische Theorie der Seiches und beruht im Wesen auf derselben Rechnung, die Lord Rayleigh über die Luftschwingungen in einer Röhre veränderlichen Querschnittes gegeben hat.[2]

Die Ableitung der Formel ist langwierig und findet sich in ausführlicher Weise von mir dargelegt in der Abhandlung »Über die Periodendauer der Eigenschwingungen des Adriatischen Meeres«.[3]

Die Formel lautet:

$$T_n = \frac{2l}{n\sqrt{gh_0}}\left[1 + \frac{1}{2lb_0}\int_0^l \Delta\, b\,(x)\,\cos\frac{2\pi x}{l}dx + \frac{1}{2lS_0}\int_0^l \Delta S(x)\cos\frac{2\pi x}{l}\,dx\right]. \tag{12}$$

Es bedeuten hierin l die Länge des Talweges des ganzen Beckens, x die Entfernung von einem Ende des Beckens längs des Talweges gemessen, $b(x)$ die Breite und $S(x)$ die Querschnittsfläche senkrecht zum Talweg an der Stelle x; b_0 ist die mittlere Breite, S_0 die mittlere Querschnittsfläche des Beckens, so daß $h_0 = S_0 : b_0$ die mittlere Tiefe des Beckens wird. Ferner ist $\Delta\, b(x) = b(x) - b_0$ und $\Delta S(x) = S(x) - S_0$. Der Klammerausdruck der Formel 12 hat, wie man sofort ersieht, die Bedeutung eines infolge der wechselnden Breite und Tiefe zur Merian'schen Formel hinzukommenden Korrektionsgliedes, und zwar bezeichnet man darin den Ausdruck mit b_0 als Breiten-, den Ausdruck mit S_0 als Volumkorrektion.

Zur numerischen Berechnung dieser Korrektionsglieder führt man eine Anzahl gleich weit voneinander abliegender Querschnitte senkrecht zur Mittellinie des Sees, ermittelt mit Berücksichtigung des ersten und letzten Querschnittes, die beide in einem See immer die Breite und Fläche 0 haben, die mittlere Breite b_0 und die mittlere Querschnittsfläche S_0; sodann bildet man für alle Querschnitte die Abweichungen Δb und ΔS, multipliziert jeden Wert mit dem entsprechenden Wert von $\cos\frac{2\pi x}{l}$. Die Zahlenwerte der vorkommenden Integrale können auf graphisch-planimetrischem Wege ermittelt werden. Die numerischen Integrationen können übrigens, wenn eine genügend große Zahl von Querschnitten ausgeführt wurden, mit völlig genügender Genauigkeit nach der einfachsten Methode, das ist durch Summation der Werte ausgeführt werden, bei welcher aber der erste und letzte Funktionswert mit dem halben, die übrigen mit dem ganzen Zuwachs von x zwischen zwei Querschnitte multipliziert werden müssen.

Die Breiten- und Volumkorrektion zeigen sofort, daß eine Verschmälerung des Beckens in der Mitte die natürliche Periode desselben verlängert, während eine solche an den Enden des Beckens die Periode verkürzt. Eine Raumerweiterung in der Mitte des Beckens wirkt dagegen die Periode verkürzend, hingegen verlängernd, wenn diese an den Enden des Beckens auftritt.

Es steht nichts im Wege, die japanische Methode auch für Becken zu benützen, die gegen die offene See geöffnet sind, also für Meeresbuchten, Kanäle usw. Es kann in diesen Fällen zur Ausbildung einer einknotigen Schwingungsform kommen, wobei die Knotenlinie an der Mündung der Bucht in das offene Meer liegt. Die Periode dieser Schwingung ist dieselbe wie jene der einknotigen Schwingung eines abgeschlossenen Sees, der aus zwei symmetrischen Hälften besteht, deren eine die betrachtete Meeresbucht ist. Nur kommt, wie die japanischen Gelehrten gezeigt haben, für Wasser-

[1] Journal of the College of Sc., 24. Bd., Imp. University Tokio.

[2] Siehe Rayleigh, Theorie des Schalles, übersetzt von Dr. F. Neesen, 2. Teil, § 265 u. ff.

[3] Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie. März 1911.

becken, die gegen die offene See ziemlich offen sind, in Analogie zu dem Verhalten von Luftschwingungen in offenen Röhren, zur Periode noch eine Mündungskorrektion hinzu, durch welche sie vergrößert wird. Dieses Korrektionsglied hängt vom Verhältnis der Breite der Bucht zu deren Länge ab; folgende kleine Tabelle enthält sie für einige Werte von $b:l$:

$b:l=$	1	$^1/_2$	$^1/_3$	$^1/_4$	$^1/_5$	$^1/_{10}$	$^1/_{20}$
Mündungskorrektion:	1·320	1·261	1·217	1·187	1·163	1·106	1·064.

Diese Werte wurden streng genommen nur für rechteckige Buchten konstanter Breite und Tiefe abgeleitet; ihre Anwendung auf Buchten unregelmäßiger Gestaltverhältnisse ist nur für den Fall gestattet, daß vorher an die Schwingungsdauer bereits die Gestaltskorrektion angebracht worden ist.

C. Die Restmethode.

Sind ξ und η die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen in einer stehenden Welle, so müssen diese nach den früheren Darlegungen die Differentialgleichungen 2 und 3 erfüllen. Als Lösung dieser Differentialgleichungen nehmen wir periodische Funktionen von t an und setzen

$$\xi = \xi_0(x)\cos\left(\frac{2\pi}{T}t+\varepsilon\right) \quad \text{und} \quad \eta = \eta_0(x)\cos\left(\frac{2\pi}{T}t+\varepsilon\right).$$

Dann müssen die von x, jedoch nicht von t abhängigen Größen ξ_0 und η_0, welche die Amplituden der horizontalen und vertikalen Verschiebungen der einzelnen Teilchen angeben, die Gleichungen erfüllen:

$$13)\qquad \frac{4\pi^2}{T^2}\xi_0 = g\frac{d\eta_0}{dx} \quad \text{und} \quad \eta_0 = -\frac{1}{b(x)}\frac{d}{dx}[S(x)\cdot\xi_0].$$

Wir ersetzen nur in der ersten Gleichung den Differentialquotienten durch den Differenzenquotienten, integrieren die zweite und multiplizieren mit 2; dann erhalten wir die Gleichungen

$$14)\qquad 2\Delta\eta_0 = \frac{4\pi^2}{T^2 g}2\xi_0\Delta x \quad \text{und} \quad 2\xi_0 = -\frac{1}{S(x)}\int_0^x 2\eta_0\, b(x)\,dx.$$

$2\eta_0$ sind die Hubhöhen der Schwingung an den einzelnen Stellen des Beckens,

$2\xi_0$ die maximale horizontale Verlagerung der Wasserteilchen aus der Ruhelage; sie müssen die Bedingungsgleichungen 14 erfüllen, damit den hydrodynamischen Grundgleichungen 2 und 3 genügt ist. Auf diese Gleichungen stützt sich die Restmethode. Diese Umformung der Differentialgleichungen hat zuerst R. v. Sterneck[1] mitgeteilt, welcher, wie wir später sehen werden, sie benützte, um das Mitschwingen von Buchten mit der Gezeitenbewegung eines äußeren Meeres zu untersuchen. Bei freien Schwingungen abgeschlossener Wassermassen kommt zu den Gleichungen 14 noch die Grenzbedingung hinzu, daß die horizontalen Verlagerungen an den beiden Enden des Sees Null sind, daß also sowohl für das eine als auch für das andere Ende des Sees $\xi_0 = 0$ ist.

Sind nun für eine größere Anzahl von Querschnitten die Flächeninhalte $S(x)$ gegeben, außerdem noch die Oberfläche des Sees zwischen je zwei senkrecht zum Talweg gelegter Querschnitte, so wird zur Berechnung der Verteilung der Größen $2\xi_0$ und $2\eta_0$ sowie zur Ermittlung der Schwingungsdauer T der Schwingung folgendermaßen vorgegangen:

Nach der Merian'schen Formel $T_k = \frac{2l}{k\sqrt{gh_0}}$ (h_0 bedeutet die mittlere Tiefe des Seebeckens) berechnet man zunächst die erste rohe Annäherung der Periode T_k' der k-knotigen freien Schwingung.

---

[1] Sitzber. d. Wiener Akad., 124. Bd., 1915.

Damit ist der Faktor $\frac{4\pi^2}{gT_x'^2}$ fixiert. Man wählt nun willkürlich für das eine Ende des Sees ($x = 0$) $2\eta_0 = 100\,cm$ und der einen Grenzbedingung entsprechend $2\xi_0 = 0$. Hat man genügend Querschnitte gelegt, so kann in erster Annäherung zunächst angenommen werden, daß die Hubhöhe $2\eta_0$ von dem Ende des Sees $x = 0$ bis zum ersten Querschnitte die gleiche bleibt. Dann kann die Größe

$$q = \int_0^x 2\,\eta_0\, b\,(x)\; dx = 2\,\eta_0\; v\,(x_1) \tag{15}$$

berechnet werden, da $v(x_1)$, die Oberfläche des Sees bis zum ersten Querschnitt bekannt ist. Die Größe q gibt die Wassermasse, die durch den Querschnitt 1 hindurchgehoben wird, um im ersten Seeabschnitt die Hubhöhe von $100\,cm$ horvorzurufen. Dividieren wir diese Größe mit $S(x)$, der Fläche des ersten Querschnittes und nehmen das negative Vorzeichen, so ist damit nach der zweiten der Gleichungen 14 die Größe $2\,\xi_0$, die horizontale Verlagerung der Wasserteilchen am ersten Querschnitt gegeben. Aus diesem berechneten Wert $2\,\xi_0$ ermitteln wir nach der ersten der Gleichungen 14 die Größe $2\,\Delta\,\eta_0$, die Änderung der Hubhöhe vom nullten bis zum ersten Querschnitt, also im ersten Seeabschnitt; aus $100 + 2\,\Delta\,\eta_0$ erhält man die Hubhöhe am ersten Querschnitt.

Wir können nun gleich eine zweite Annäherung für diesen Seeabschnitt berechnen. Wir lassen die Annahme, daß vom nullten bis zum ersten Querschnitt $2\,\eta_0 = 100$ konstant bleibt, fallen und führen in Gleichung 15 an Stelle von $2\,\eta_0$ den Mittelwert zwischen 100 und dem eben aus der ersten Annäherung berechneten Wert $100 + 2\,\Delta\,\eta_0$ ein, von dem wir nun annehmen, daß er im ersten Seeabschnitt konstant bleibt. Dadurch erhält man für q einen etwas anderen Wert, ebenso für $2\,\xi_0$ am ersten Querschnitt und schließlich einen genaueren Wert für $2\,\Delta\,\eta_0$ und daraus auch einen genaueren Wert für die Hubhöhe am ersten Querschnitt.

Nach Durchführung dieser zweiten Näherung, die in den allermeisten Fällen vollständig genügen dürfte, rechnen wir weiter und schreiten auf dieselbe Art von einem Querschnitt zum nächsten fort. Man berechnet stets, welche Wassermenge durch die Querschnitte hindurchgeschoben werden müssen, um die vertikalen Verlagerungen in den einzelnen vorangehenden Seeabschnitten hervorzurufen. Hierbei kann für jeden Seeabschnitt einzeln die oben angegebene zweite Annäherung in Rechnung gezogen werden. Schließlich kommen wir zum letzten Querschnitt, dessen Flächeninhalt Null ist, da dieser ja das andere Ende des Sees ist. Es besteht demnach keine Möglichkeit, daß durch diesen Querschnitt eine Wassermenge hingeschoben wird, weil hier der See sein Ende erreicht hat. Falls der nach der Merian'schen Formel ermittelte Wert T_k' die wirkliche Eigenperiode der k-knotigen Schwingung ist, so muß der zweiten Grenzbedingung gemäß die durch den letzten Querschnitt hindurchgeschobene Wassermenge gleich Null sein. Tatsächlich wird sie von Null verschieden, sagen wir, die Größe $+ a$ sein. Dann entspricht T_k' nicht der wirklichen Eigenperiode der k-knotigen Schwingung. Wählen wir nun einen zweiten kleineren oder größeren Wert T_k'' und führen die Rechnung neuerlich bis zum letzten Querschnitt durch, so sei die nun durch den letzten Querschnitt hindurchzuschiebende Wassermenge $- b$. Dann ist auch T_k'' nicht die tatsächliche Eigenperiode der k-knotigen Schwingung; aber T_k wird sicherlich zwischen T_k' und T_k'' liegen. Man verfährt nun zur genauen Ermittlung von T_k so wie bei der Regula falsi zur Ermittlung von Wurzeln transzendenter Gleichungen. Man kann auf diese Weise T_k immer zwischen engere Grenzen einschließen, bis die gewünschte Genauigkeit erreicht ist. Die mit dem letzten Wert T_k durchgeführte Rechnung ergibt zugleich die Verteilung der Hubhöhen und die Größe der horizontalen Verschiebungen längs des ganzen Sees sowie die Lage der Knotenlinien, kurz die ganze Schwingungsform für die k-knotige Eigenperiode der abgeschlossenen Wassermenge. Da bei dieser Methode zur Integration der Differentialgleichungen keine Schematisierung der Bodenformen der Seewanne notwendig ist, ist die Rechnung auch bei den kompliziertesten Gestaltsverhältnissen der Becken durchführbar; die Methode bietet deshalb wesent-

liche Vorteile gegenüber den früher dargelegten Methoden; sie gibt, was hier nochmal hervorgehoben sei, zugleich mit der Periode auch die gesamte Schwingungsform der stehenden Welle, welch letztere man nach der Chrystal'schen Methode nur durch weitere, mehr oder minder langwierige Rechnungen erhält.

Welche der 3 angeführten Methoden in den einzelnen Fällen am vorteilhaftesten zur Anwendung gelangt, entscheiden Umstände, auf die wir erst später in den einzelnen Fällen eingehen können; alle drei Methoden müssen für ein und dieselbe Wassermasse dieselbe Periode und dieselbe Schwingungsform geben; es kann demnach dadurch entschieden werden, mit welcher Genauigkeit die Eigenperiode kleiner und größerer abgeschlossener Wassermassen ermittelt werden kann.

Alle 3 Methoden berücksichtigen nicht die Reibungsverhältnisse, unter denen die Wellenbewegung erfolgt. Hiebei spielt hier die innere Reibung eine sehr geringe Rolle, da die Bewegung des Wassers in den Schwingungen gleichsam ein Hin- und Herrollen der ganzen Wassermasse im Seebecken aufgefaßt werden kann; die freien Schwingungen erlöschen mehr unter dem Einflusse der äußeren Reibung am Boden; diese hängt ganz von der Beschaffenheit des Seebeckens ab.[1] Die Reibung bedingt stets eine Verlängerung der Eigenperiode der abgeschlossenen Wassermasse, doch ist der Einfluß der Reibung in Hinsicht auf den Reibungskoeffizienten, wie R. Witting[2] zeigte, von zweiter Ordnung, also von geringer Bedeutung.

3. Die selbständigen Gezeiten abgeschlossener Wassermassen.

In jeder abgeschlossenen Wassermasse, die eine einigermaßen größere west-östliche oder nord-südliche Erstreckung aufzuweisen hat, werden unter der Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte des Mondes und der Sonne selbständige Gezeiten hervorgerufen. Die Gleichgewichtstheorie verlangt, daß die freibewegliche Wasseroberfläche jeweils die durch die fluterzeugenden Kräfte von Mond und Sonne erzeugte Niveaufläche einnimmt. Die abgeschlossenen Wassermassen werden der horizontalen Komponente dieser Kräfte keinen Widerstand zu bieten vermögen, sie kommen ins Fließen und werden unter Einwirkung der horizontalen periodischen Kräfte erzwungene Schwingungen bestimmter Periode ausführen. Nach der statischen Theorie der Gezeiten steht die Oberfläche der abgeschlossenen Wassermasse stets senkrecht auf die Kraft, die sich aus der horizontalen Komponente der Flutkraft und der Schwere zusammensetzt, und nach ihr hat das Wasser der Meere stets hinreichend Zeit, diese Gleichgewichtsform anzunehmen, bevor der Mond seine Stellung am Himmel merklich geändert hat. Die Gleichgewichtstheorie nimmt keine Rücksicht auf die Trägheit des Wassers und die aus ihr abgeleiteten Ergebnisse stimmen deshalb mit der Erfahrung in vielen Fällen nicht überein.

Die dynamische Theorie der Gezeiten berücksichtigt den Umstand, daß bei der tatsächlichen Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde in den Gezeitenbewegungen der relativ flachen Meere höchst selten die Gleichgewichtsform erreicht wird; sie berücksichtigt die Gestalt und wechselnde Tiefe der abgeschlossenen Wassermassen. Dadurch werden allerdings die zu überwindenden mathematischen Schwierigkeiten so groß, daß bisher nur in wenigen Fällen eine Lösung gefunden werden konnte. Das Problem der Ermittlung der selbständigen Gezeiten eines abgeschlossenen Randmeeres reduziert sich somit auf die Frage: Wie gestaltet sich die Schwingungsform einer abgeschlossenen Wassermasse, die unter Einwirkung einer äußeren Kraft bestimmter Periode zur Entwicklung gelangt?

Bevor wir uns mit dieser Frage beschäftigen, wollen wir uns über die Art der periodischen Kräfte, die hier im Betracht kommen, etwas orientieren. Die störende Wirkung des Mondes auf einen Punkt der Oberfläche stellt sich durch ein Potential Ω dar, dessen angenäherter Wert

$$\Omega = \frac{3}{2} \gamma \frac{M a^2}{D^3} \left(\frac{1}{3} - \cos^2 \vartheta \right)$$

[1] Siehe A. Defant, Theoretische Überlegungen über Seespiegelschwankungen in Seen und Meeresbuchten. Annalen der Hydrographie u. marit. Meteorologie, Jänner 1916.

[2] Rolf Witting. Tidvattnen i östersjön och Finska viken. Helsingfors 1911.

lautet.[1] Hierin bedeuten M die Masse des störenden Körpers (Mondes), D seine Entfernung vom Erdmittelpunkte, a den Erdradius, γ die Gravitationskonstante und ϑ die Zenitdistanz des Mondes für den Punkt P der Erdoberfläche. Wir setzen die Konstante $\frac{3}{2}\gamma\frac{Ma}{D^3}=f$; ihr numerischer Wert ist, wenn g die Beschleunigung der Schwere ist, für den Mond als störenden Körper $f = 8 \cdot 57.10^{-8} g$, für die Sonne als störenden Körper $3 \cdot 78.10^{-8} g$ und für beide[2] zusammen $1 \cdot 235.10^{-7} g$.

Sind nun λ die Poldistanz des Punktes P, β die Poldistanz des Mondes und α der Stundenwinkel des Mondes gegen den Meridian von P, so ist $\cos\vartheta = \cos\lambda\cos\beta + \sin\lambda\sin\beta\sin\alpha$. Wenn wir annehmen, daß der Mond stets in der Ebene des Äquators bleibt — wir werden uns zumeist mit dieser Annäherung begnügen —, dann ist $\beta = 90°$ und $\cos\vartheta = \sin\lambda\sin\alpha$. Ist weiters n_1 die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation, n_2 die Winkelgeschwindigkeit des Mondes in seiner kreisförmigen Bahn in bezug auf einen festen Meridian, $n = n_1 - n_2$ und x die Entfernung des Punktes P auf einen Parallelkreis mit der Poldistanz λ von demselben festen Meridian, dann kann α ausgedrückt werden durch

$$\alpha = nt + \frac{x}{a\sin\lambda} + \varepsilon \text{ und es ist } \cos\vartheta = \sin\lambda\cos\left(nt + \frac{x}{a\sin\lambda} + \varepsilon\right).$$

Die längs des Parallelkreises wirkende horizontale Komponente der fluterzeugenden Kraft wird dadurch

$$X = -\frac{\partial\Omega}{\partial x} = f\sin\lambda\cos 2\left(nt + \frac{x}{a\sin\lambda} + \frac{\pi}{4} + \varepsilon\right).$$

Betrachten wir einen kleinen Wasserkanal längs des Parallelkreises mit der Poldistanz λ, so wird auf jeden der durch zwei benachbarte Querschnitte, die senkrecht zum Parallelkreis gelegt wurden, herausgeschnittenen Kanalabschnitt die horizontale Kraft X wirken; sie ist in einem bestimmten Augenblick für jeden Abschnitt nicht gleich groß, da das Argument des cos die Koordinate x enthält, welche die Lage des Kanalabschnittes festlegt. Ist die west-östliche Erstreckung des Kanals aber klein, so nähern wir uns der Wirklichkeit mit genügender Genauigkeit, wenn wir für alle Kanalabschnitte für x die Entfernung x_1 des mittleren Meridians des Kanals einsetzen, wodurch $\frac{x_1}{\alpha\sin\lambda}$ in die Konstante ε eingeht. Die horizontale Kraftkomponente X wird dadurch für eine abgeschlossene Wassermasse von kleiner west-östlicher Erstreckung in der geographischen Breite φ $X = f\cos\varphi\cos 2\left(nt + \frac{\pi}{4} + \varepsilon\right)$.

$nt + \varepsilon$ ist der Stundenwinkel des Mondes in bezug auf den mitteren Meridian des Randmeeres.

Hat die abgeschlossene Wassermasse eine nord-südliche Erstreckung, liegt also der Kanal auf einem Meridian und bezeichnen wir den Stundenwinkel der in der Ebene des Äquators sich bewegenden Mondes mit $nt + \varepsilon$, so ist in diesem Falle $\cos\vartheta = \sin\lambda\cos(nt + \varepsilon)$. Bezeichnet man mit x die Entfernung einer senkrecht zum Meridian gelegten Querschnittsfläche des Kanals vom Äquator, so wird $\cos\vartheta = \cos\frac{x}{a}\cos(nt + \varepsilon)$ und die längs der abgeschlossenen Wassermasse horizontal wirkende Komponente der fluterzeugenden Kraft

$$X = -\frac{\partial\Omega}{\partial x} = -\frac{1}{2} f \sin 2\frac{x}{a}\left[1 + \cos 2(nt + \varepsilon)\right].$$

[1] Siehe Lamb, Hydrodynamik, p. 418.

[2] Siehe Lamb, Hydrodynamik p. 313. Es ist häufig zweckmäßig, eine lineare Größe H einzuführen, die definiert ist durch $H = \frac{f}{g} a$. Im Falle des Mondes wird $H = 54 \cdot 9\, cm$, im Falle der Sonne $H = 24 \cdot 1\, cm$; für vereinigte Sonn- und Mondfluten $H = 78 \cdot 9\, cm$. H ist die maximale Hubhöhe der Gezeiten nach der Gleichgewichtstheorie.

Bewegt sich der Mond nicht im Äquator, besitzt er eine konstante Poldistanz β, so wird in beiden Fällen die horizontale Komponente der fluterzeugenden Kraft im Verhältnis von $\sin^2 \beta$ zu 1 verkleinert.

A. Die selbständigen Gezeiten im Becken west-östlicher Erstreckung.

Die selbständigen Gezeiten in einem abgeschlossenen Wasserbecken veränderlicher Breite und Tiefe können wir demnach als Schwingungen, die unter der Einwirkung periodischer Kräfte erzwungen sind, ansehen. Die Schwingungsform hängt von der Lösung von Differentialgleichungen der Form 2 und 3 ab, wobei bei der ersten auf der rechten Seite additiv noch der Ausdruck für die periodische Kraft hinzutritt. Die Differentialgleichungen für ein Becken west-östlicher Erstreckung in der Breite φ haben nach dem Früheren die Form:

$$15)\qquad \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = g\,\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{b(x)}\cdot\frac{\partial S(x)\,\xi}{\partial x}\right] + f\cos\varphi\cos 2\left(nt + \frac{\pi}{4} + \varepsilon\right)$$

und

$$16)\qquad \eta = -\frac{1}{b(x)}\,\frac{\partial}{\partial x}\,[S(x)\,\xi]$$

Für einen Kanal rechteckigen Querschnitts und konstanter Tiefe h nehmen sie die Form:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + f\cos\varphi\cos 2\left(nt + \frac{\pi}{4} + \varepsilon\right) \text{ und } \eta = -h\frac{\partial \xi}{\partial x}$$

an; hiebei bedeutet $c^2 = gh$. Bezeichnen wir mit l die west-östliche Erstreckung des Kanals und setzen $y = \frac{x}{l}$, so lautet die Lösung[1] der Differentialgleichungen bei der Grenzbedingung: $\xi = 0$ für das westliche $(y = 0)$ und für das östliche Ende $(y = 1)$ des Beckens:

$$17)\qquad \xi = \frac{f\cos\varphi}{2n^2\cos\frac{nl}{c}}\sin\frac{nl}{c}y\,\cos\frac{nl}{c}(1-y)\cos 2\left(nt + \frac{\pi}{4} + \varepsilon\right)$$

und

$$18)\qquad \eta = \frac{cf\cos\varphi}{2ng\cos\frac{nl}{c}}\sin\frac{nl}{c}(2y-1)\cos 2\left(nt + \frac{\pi}{4} + \varepsilon\right).$$

Die Perioden der freien Schwingungen des Kanals sind $T_f = \frac{2l}{\varkappa\sqrt{gh}} = \frac{2l}{\varkappa c}$, $\varkappa = 1, 2, 3\ldots$; die Periode der fluterzeugenden Kraft dagegen $T_\varkappa = \frac{\pi}{n}$; es ist deshalb, wenn wir das Verhältnis der Periode der freien Schwingung zur Periode der Kraft ν bezeichnen wollen, $\frac{nl}{c} = \nu\frac{\pi}{2}$ und die Gleichung für die vertikalen Verschiebungen erhält die Form:

$$19)\qquad \eta = \frac{lf\cos\varphi}{\pi g\nu}\,\frac{\sin\nu\frac{\pi}{2}(y-1)}{\cos\nu\frac{\pi}{2}}\cos 2\left(nt + \frac{\pi}{4} + \varepsilon\right).$$

Die Wassermasse des Kanals vollführt demnach Schwingungen mit der Periode der erzeugenden Kraft; die Amplitude dieser Schwingungen hängt wesentlich von der Verhältniszahl ν, das ist vom Verhältnis der Eigenperiode des Kanals zur Periode der Kraft ab. Wir erhalten Knotenlinien der verti-

[1] Siehe Lamb, Hydrodynamik, p. 310.

kalen Erhebung an jenen Stellen im Kanal, an denen $\sin \nu \frac{\pi}{2}(2y-1) = 0$ wird. Die Gleichung ist erfüllt für die Werte $y_k = \frac{k}{\nu} + \frac{1}{2}$; $k = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots\ldots$ Ist $\nu < 2$, so hat die Schwingung nur eine Knotenlinie; für $2 \leqq \nu < 4$ deren 3, für $4 \leqq \nu < 6$ deren 5 usw. Außerdem sehen wir, daß die Amplitude unendlich groß wird, das heißt, die Lösung verliert den Sinn für $\cos \nu \frac{\pi}{2} = 0$ also für $\nu = 1, 3, 5, 7$ usw. An diesen Stellen wechselt auch die Schwingung die Phase. In folgender Tabelle ist die Amplitudenverteilung für die eine Hälfte des Kanals $\left(y = 0 \text{ bis } y = \frac{1}{2}\right)$ für verschiedene Verhältniszahlen ν mitgeteilt; hierbei ist der Faktor $\frac{l f \cos \varphi}{\pi g} = 10$ gesetzt worden. Fig. 9 gibt die graphische Darstellung der Schwingungsform der erzwungenen Schwingungen für die verschiedenen Verhältniszahlen ν.

Amplitudenverteilung bei erzwungenen Schwingungen in einem abgeschlossenen Kanal bei verschiedenen Werten der Verhältniszahl $\nu = T_f : T_\varkappa$.

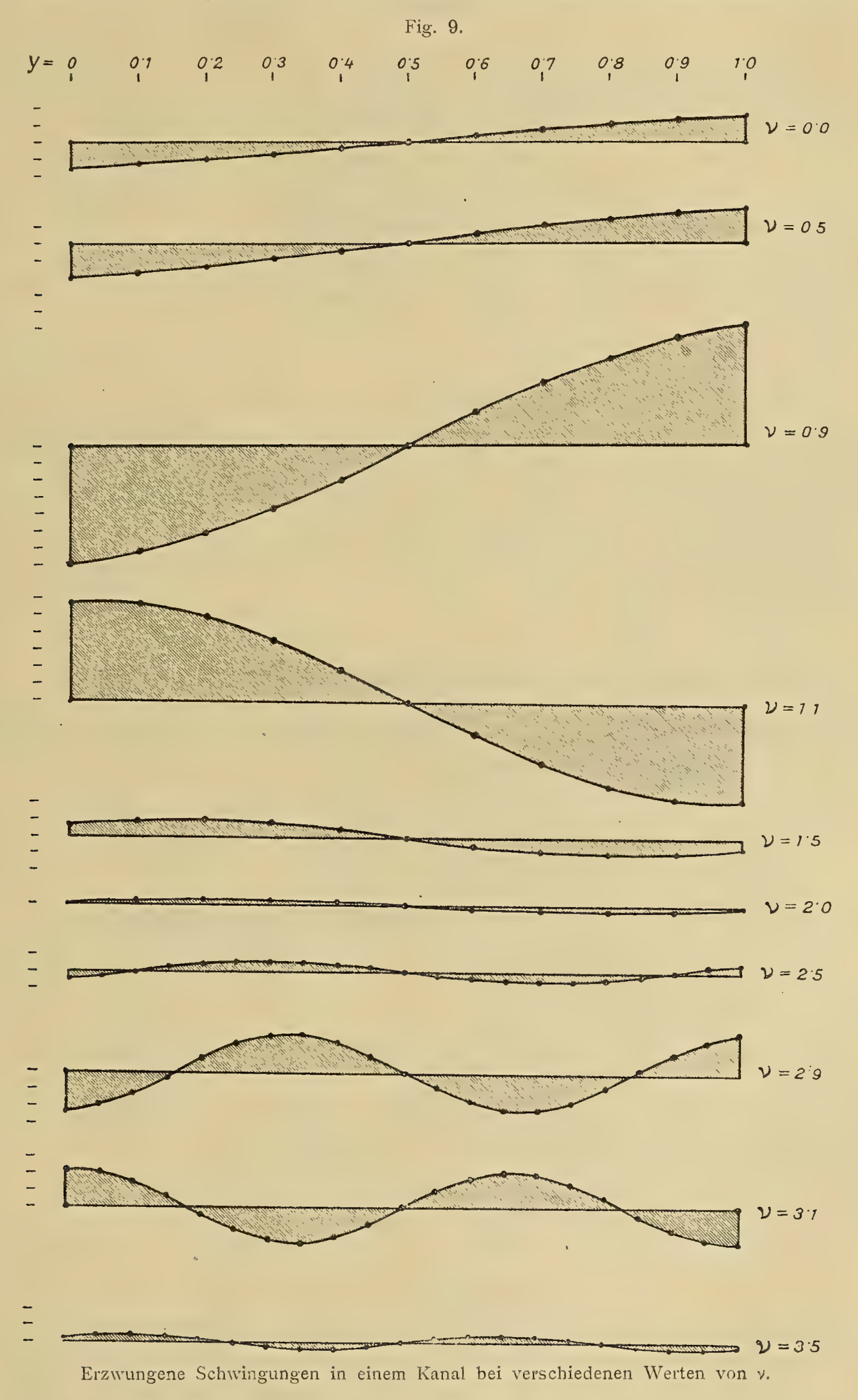
$y =$	$\nu = 0$	$\nu = 0·5$	$\nu = 0·9$	$\nu = 1·1$	$\nu = 1·5$	$\nu = 2·0$	$\nu = 2·5$	$\nu = 2·9$	$\nu = 3·1$	$\nu = 3·5$
0	−15·7	−20·0	−70·2	+57·4	+ 6·7	+ 0·0	− 4·0	−21·8	+20·4	+ 2·9
0·05							− 2·2	−18·0	+19·5	+ 3·9
0·1	−12·6	−16·6	−63·7	+57·1	+ 9·0	+ 1·2	0·0	−10·6	+14·1	+ 3·8
0·15							+ 2·2	− 1·0	+ 5·4	+ 2·6
0·2	− 9·4	−12·8	−52·5	+50·0	+ 9·3	+ 1·9	+ 4·0	+ 8·8	− 4·5	+ 0·6
0·25							+ 5·2	+16·8	−13·4	− 1·5
0·3	− 6·3	− 8·7	−38·1	+37·0	+ 7·6	+ 1·9	+ 5·7	+21·4	−19·4	− 3·3
0·35							+ 5·3	+21·6	−20·5	− 4·0
0·4	− 3·1	− 4·4	−19·8	±19·7	+4·3	+ 1·2	+ 4·0	+17·5	−17·1	− 3·6
0·45							+ 2·2	+ 9·7	− 9·7	− 2·1
0·5	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	+ 0·0	0·0	0·0

Die Amplitudenverteilung der Schwingung für $\nu = 0$ entspricht der aus der statischen Gleichgewichtstheorie folgenden. Die Amplitude nimmt bis $\nu = 1$ (wo sie unendlich wird) zu, behält aber dieselbe Phase bei; die Zunahme ist anfangs gering; für $\nu = 0·5$ vergrößert sie sich an den Enden des Kanals gegenüber dem Wert bei $\nu = 0$ im Verhältnis von 5 zu 4; bei $\nu = 0·9$ ist sie aber schon 4·3 größer als bei $\nu = 0$. Für Werte von ν größer als 1 kehrt sich die Phase der Schwingung um; bei zunehmenden ν nimmt auch die Amplitude rasch ab; hiebei findet man das Maximum der vertikalen Verlagerung der Wassermassen nicht mehr an den Enden des Kanals; sie rücken allmählich von beiden Seiten gegen die Mitte des Sees vor, wo jedoch stets eine Knotenlinie erhalten bleibt. Für $\nu = 2$ ist die Amplitude überall sehr klein, wir finden jedoch maximale Erhebungen am ersten und dritten Viertel des Sees, während sie an beiden Enden Null ist. Die Schwingung hat demnach für $\nu = 2$ drei Knotenlinien, zwei an den Enden und eine in der Mitte des Kanals. Nebenstehende Figur zeigt für größere Werte der Verhältniszahl ν die Schwingungsform; für $\nu = 3$ wird die Amplitude wieder überall unendlich, aber der Übergang von benachbarten Werten der Verhältniszahl ν zu 3 wird immer schroffer; so beträgt die maximale vertikale Verschiebung bei $\nu = 2·9$ etwa 22 Einheiten, bei $\nu = 3·0$ ist sie unendlich und für $\nu = 3·1$ ist sie schon wieder 20 Einheiten. Noch unvermittelter ist der Übergang bei $\nu = 7$, für welchen Wert die Amplitude wieder unendlich wird. Bei jedem Übergang durch ∞ ändert sich in jedem Kanalabschnitt die Phase der Schwingung um 180°. Die Figur zeigt in

deutlicher Weise, welch außerordentlich wichtigen Einfluß die Eigenperiode der abgeschlossenen Wassermasse auf die Ausbildung der selbständigen Gezeiten übt.

Da $nt+\varepsilon$ der Stundenwinkel des Mondes, beziehungsweise der Sonne in bezug auf den mittleren Meridian des Kanals ist, so folgt, daß die unter der Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte von Mond

Fig. 9.



Erzwungene Schwingungen in einem Kanal bei verschiedenen Werten von ν.

und Sonne auftretenden Gezeiten halbtägig sind (wobei als Tag natürlich der Mondtag, beziehungsweise der Sonnentag zu verstehen ist). Zur Zeit der Syzygien gehen Sonne und Mond (beziehungsweise Gegenmond) gleichzeitig durch den Meridian; ist $\nu < 1$, so ist am Westende des Kanals $(\nu = 0)$

das Maximum der Flut erreicht, wenn $\cos 2\left(nt+\varepsilon+\frac{\pi}{4}\right)=-1$ ist, am Ostende des Kanals ($y=1$) dagegen, wenn der cos gleich 1 ist. Daraus folgt am Westende des Kanals Hochwasser, wenn der Stundenwinkel des Mondes $\alpha=\frac{\pi}{4}$ oder $\frac{5\pi}{4}$ ist, am Ostende dagegen, wenn $\alpha=\frac{3\pi}{4}$ oder $\frac{7\pi}{4}$. Im Falle, daß $\nu<1$ ist, ist deshalb die Hafenzeit am Westende 3^h, am Ostende 9^h (Zeit des mittleren Meridians) im Falle $1<\nu<2$ jedoch am Westende 9^h und am Ostende 3^h. Auch die Hafenzeit hängt also von dem Verhältnis der Eigenperiode des Kanals zur Periode der fluterzeugenden Kraft ab. Im Falle $\nu<1$ haben die horizontalen Verschiebungen des Wassers stets die gleiche Phase wie die fluterzeugende Kraft. Zur Zeit der Syzygien ist diese von 12^h bis 6^h nach Westen, von 6^h bis 12^h nach Osten gerichtet; sie erreicht um 3^h und 9^h ihre maximalen Beträge. Für $1<\nu<2$ sind dagegen die Zeiten zu vertauschen.

Berücksichtigt man die Reibung, so tritt zur Differentialgleichung 15 auf der linken Seite noch das Glied $\beta\frac{d\xi}{dt}$ hinzu; β ist der Reibungskoeffizient. Die Lösung[1] der Differentialgleichung ergibt, daß auch hier die Wirkung der Reibung hinsichtlich des Reibungskoeffizienten zweiter Ordnung ist. Bei Reibung werden die Schwingungsamplituden für $\nu=1, 3, 5, 7\ldots.$ nicht unendlich groß; sie erreichen bei Werten für ν, die etwas kleiner als 1, 3, 5 usw. sind, ihre maximalen Beträge. Auch in den Phasen ist ein Einfluß der Reibung vorhanden, derart, daß in einem bestimmten Punkte im Kanal die Phase sich nicht sprunghaft um 180° ändert, wenn ν durch die kritischen Werte 1, 3, 5 usw. geht. Die Änderung der Phase bleibt stetig, wennschon sie in der nächsten Umgebung der kritischen Werte sehr rasch erfolgt.

B. Abgeschlossene Becken veränderlicher Breite und Tiefe.

Die in solchen Wasserbecken unter der Wirkung einer gleichförmigen fluterzeugenden Kraft $X=\varkappa\cos(\sigma t+\varepsilon)$ sich ausbildenden Schwingungen hängen von den Differentialgleichungen

$$\text{20)}\qquad \frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=g\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{b(x)}\frac{\partial}{\partial x}(S(x)\cdot\xi)\right]+X \quad\text{und}\quad \eta=-\frac{1}{b(x)}\frac{\partial}{\partial x}[S(x)\cdot\xi]$$

ab. Wir führen auch hier, wie bei den freien Schwingungen die neuen Veränderlichen $u=S(x)\,\xi$ und $v=\int_0^x b(x)\,dx$ ein und bezeichnen $S(x)\,b(x)=\sigma(v)$; dann nehmen die Differentialgleichungen die Form

$$\text{21)}\qquad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=g\sigma(v)\frac{\partial^2 u}{\partial v^2}+X \quad\text{und}\quad \eta=-\frac{\partial u}{\partial v}$$

an; $\sigma(v)$ ist wieder die Normalkurve des Wasserbeckens. Für ein Wasserbecken konstanter Breite, rechteckigen Querschnittes, jedoch veränderlicher Tiefe $h(v)$ wird aus 21:

$$\text{22)}\qquad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=gh(v)\frac{\partial^2 u}{\partial v^2}+X \quad\text{und}\quad \eta=-\frac{\partial u}{\partial v},$$

wenn wir $u=h(v)\,\xi$ setzen; sie sind identisch mit den Gleichungen 21; wir können also die unter Einwirkung einer periodischen Kraft erzwungenen Schwingungen in einem beliebig geformten Wasserbecken genau so untersuchen, wie wenn das Wasserbecken konstante Breite, rechteckigen Querschnitt und die Kurve $\sigma(v)$ als Talweg besäße. Die Form der Schwingungen ist in beiden Fällen dieselbe.

---

[1] Rolf Witting, l. c., p. 64 u. ff.

Zur Lösung der Differentialgleichung 21 setzen wir $u = P \cos(\sigma t + \varepsilon)$ und P muß die Differentialgleichung

23) $$\frac{d^2 P}{d v^2} + \frac{\sigma^2}{g \sigma(v)} P + \frac{\varkappa}{g \sigma(v)} = 0$$

erfüllen.

a) Die Normalkurve bestehe aus Geraden; dann ist $\sigma(v) = h\left(1 - \frac{v}{a}\right)$. Setzt man

$$w = \frac{2 \sigma a}{\sqrt{gh}} \sqrt{1 - \frac{v}{a}} \text{ und } P = R w,$$

so kommt es auf die Lösung der Differentialgleichung

$$\frac{d^2 R}{d w^2} + \frac{1}{w} \frac{d R}{d w} + \left(1 - \frac{1}{w^2}\right) R + \frac{\varkappa}{\sigma^2 w} = 0$$

an. Dieselbe ist

$$R = A J_1(w) + B Y_1(w) - \frac{\varkappa}{\sigma^2 w};$$

hierin sind A und B Konstanten und $J_1(w)$ und $Y_1(w)$ die Zylinderfunktionen erster Ordnung. Die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen ergeben sich sodann aus den Gleichungen

24) $$\xi w = \frac{2a}{h}\left[A J_1(w) + B Y_1(w) - \frac{\varkappa}{\sigma^2 w}\right] \cos(\sigma t + \xi) \text{ und}$$

$$\eta = [A J_0(w) + B Y_0(w)] \cos(\sigma t + \varepsilon).$$

1. Fall. Die abgeschlossene Wassermasse habe eine Normalkurve, die der Fig. 3 entspricht. Die Grenzbedingungen sind $\xi = 0$ für $v = 0$ und $v = p$. Bezeichnen wir

$$\frac{2a}{\sqrt{gh}} = \alpha \quad \text{und} \quad \frac{2a}{\sqrt{gh}} \sqrt{1 - \frac{p}{a}} = \beta,$$

so bestimmen sich die Konstanten A und B aus den Bedingungsgleichungen

$$A J_1(\sigma\alpha) + B Y_1(\sigma\alpha) = \frac{\varkappa}{\sigma^3 \alpha} \text{ und } A J_1(\sigma\beta) + B Y_1(\sigma\beta) = \frac{\varkappa}{\sigma^3 \beta}.$$

Hieraus folgt

$$A = \frac{\varkappa}{\sigma^3 \alpha\beta} \frac{\alpha Y_1(\sigma\alpha) - \beta Y_1(\sigma\beta)}{Y_1(\sigma\alpha) J_1(\sigma\beta) - Y_1(\sigma\beta) J(\sigma\alpha)} \text{ und } B = \frac{\varkappa}{\sigma_3 \alpha\beta} \frac{\beta J_1(\sigma\beta) - \alpha J_1(\sigma\alpha)}{Y_1(\sigma\alpha) J_1(\sigma\beta) - Y_1(\sigma\beta) J_1(\sigma\alpha)}.$$

Diese Werte für A und B in Gleichung 5 eingesetzt, ergibt die Lösung für Normalkurven der Form Figur 3. Die Lösung verliert ihren Sinn, wenn der Nenner in den Ausdrücken für A und B gleich Null wird; das ist aber nur dann der Fall, wenn $\sigma = n$ ist und $\frac{2\pi}{n} = T_f$ die Periode der freien Schwingung ist; denn die Periodengleichung für derartig geformte Becken lautet (siehe 1. Abschnitt 1, 4. Fall)

$$Y_1(n\alpha) J_1(n\beta) - J_1(n\alpha) Y_1(n\beta) = 0.$$

2. Fall. Lauft in Figur 3 bei A der See spitz zu, so wird $\xi = 0$ für $\beta = 0$.

Nun gelten die Beziehungen

$$\lim_{\beta=0} \frac{J_1(\sigma\beta)}{Y_1(\sigma\beta)} = 0 \text{ und } \lim_{\beta=0} \beta Y_1(\sigma\beta) = -\frac{1}{\sigma}.$$

Mittels dieser wird

$$A = \frac{\varkappa}{\sigma^2 J_1(\sigma\alpha)}\left[\frac{1}{\sigma\alpha} + Y_1(\sigma\alpha)\right] \quad \text{und } B = -\frac{\varkappa}{\sigma^2}.$$

Die Gleichungen 24 erhalten dann die Form

$$\xi w = \frac{\varkappa}{\sigma^2}\frac{2a}{h}\left[\frac{Y_1(\sigma\alpha)J_1(w) - J_1(\sigma\alpha)Y_1(w)}{J_1(\sigma\alpha)} + \frac{wJ_1(w) - \sigma\alpha J_1(\sigma\alpha)}{w\sigma\alpha J_1(\sigma\alpha)}\right]\cos(\sigma t + \varepsilon)$$

$$\eta = \frac{\varkappa}{\sigma^2}\left[\frac{Y_1(\sigma\alpha)J_0(w) - J_1(\sigma\alpha)Y_0(w)}{J_1(\sigma\alpha)} + \frac{1}{\sigma\alpha J_1(\sigma\alpha)}\right]\cos(\sigma t + \varepsilon).$$

Mitschwingen der Wassermassen mit der Periode der Kraft erfolgt, wenn $J_1(\sigma\alpha) = 0$ ist. Nun ist, wenn ν das Verhältnis der Periode der einknotigen freien Schwingung zur Periode der Kraft ist, $\sigma\alpha = \frac{T_f}{T_\varkappa} j_2 = 3\cdot833\,\nu$ und $J_1(3\cdot832\,\nu) = 0$, wenn $3\cdot832\,\nu = 3\cdot832$ oder $7\cdot016$, $10\cdot173$, $13\cdot233$ usw. wird, also für $\nu = 1$, $1\cdot83$, $2\cdot66$, $3\cdot45$ usw.

Das ist ein wesentlicher Unterschied gegenüber einem Kanal konstanter Tiefe, wo das Mitschwingen bei $\nu = 1, 3, 5, 7$ usw. erfolgt. Nur die erste Zahl ist dieselbe, die folgenden alle nahezu um die Hälfte kleiner. Die Anwendung der Ergebnisse, die sich auf einen Kanal konstanter Tiefe ergeben, auf Becken variabler Querschnittsverhältnisse ist alo kaum in erster Annäherung erlaubt.

3. Fall. Wenn die Normalkurve der abgeschlossenen Wassermassen aus zwei gleichen oder auch ungleichen Dreiecken (siehe Fig. 1 und 2) besteht, erhält man ähnliche Lösungen wie im Falle 2; doch sind die Ausdrücke für ξ und η weitläufig. Wir wollen sie deshalb hier nicht wiedergeben.

b) Hat die Normalkurve konkavparabolische Form, so ist $\sigma(v) = h\left(1 - \frac{v^2}{a^2}\right)$ und Gleichung 23 wird, wenn $w = \frac{v}{a}$, $c = \frac{a^2\sigma^2}{gh}$ und $\gamma = \frac{a^2\varkappa}{gh}$ gesetzt wird.

$$\frac{d^2P}{dw^2} + \frac{c}{1-w^2}P + \frac{\gamma}{1-w^2} = 0.$$

Die Lösung der Differentialgleichung ist $P = A\,C(c, w) + B\,S(c, w) - \frac{\varkappa}{\sigma^2}$. Dadurch werden

$$\xi h(1-w^2) = \left[A\,C(c, w) + B\,S(c, w) - \frac{\varkappa}{\sigma^2}\right]\cos(\sigma t + \varepsilon)$$

25)

$$\eta = -\frac{1}{a}[A\,C'(c, w) + B\,S'(c, w)]\cos(\sigma t + \varepsilon)$$

A und B bestimmen sich aus den Grenzbedingungen.

1. Fall. Konkavparabolisches symmetrisches Becken (Fig. 4).

Die Grenzbedingangen sind $\xi = 0$ für $w = \pm 1$; daran folgt $A = \frac{\varkappa}{\sigma^2 C(c, 1)}$ und $B = 0$. Die Schwingungsamplitude wird, wie man aus dem Werte für A ersieht, unendlich, wenn $C(c, 1) = 0$ ist. Da die Periode der freien einknotigen Schwingung des Wasserbeckens

$$T_f = \frac{2\pi a}{\sqrt{2gh}}$$

ist, so wird

$$c = \frac{T_f^2}{T_k^2}\,2 \text{ oder } c = 2\nu^2;$$

Mitschwingen erfolgt also, wenn $C(2\nu^2, 1) = 0$ wird, oder wenn $2\nu^2 = (2s-1)\,2s$, $s = 1, 2, 3\ldots.$ Daraus folgt $\nu = 1,\ 2\cdot 45,\ 3\cdot 873,\ 5\cdot 29$ usw.

Die Verhältniszahlen weichen wieder ziemlich von jenen, die für einen Kanal konstanter Tiefe gefunden wurden, ab; sie sind alle, mit Ausnahme des ersten Wertes, kleiner als die dort gefundenen. Bei konkaven Seen erfolgt also bereits bei kleineren Perioden der freien Schwingungen ein Mitschwingen der Wassermenge mit der Periode der Kraft.

Die horizontalen und vertikalen Verschiebungen ergeben sich aus den Gleichungen

$$\xi\,(1-w^2) = \frac{\varkappa}{\sigma^2\, C(2\nu^2, 1)}\,[C(2\nu^2, w) - C(2\nu^2, 1)]\,\cos(\sigma t + \varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{\varkappa}{\alpha\,\sigma^2}\,\frac{C'(2\nu^2, w)}{C(2\nu^2, 1)}\,\cos(\sigma t + \varepsilon).$$

2. Fall. Halbparabolische konkave Beckenform (siehe Fig. 6).

Aus den Grenzbedingungen folgt $A = \frac{\varkappa}{\sigma^2}$ und $B = -\frac{\varkappa}{\sigma^2\, S(c, 1)}\,[C(c, 1) - 1]$. Da die Eigenperiode der einknotigen Schwingung $T_f = \frac{2\pi a}{\sqrt{2\cdot 3 g h}}$ ist, wird in diesem Falle $c = 6\nu^2$ und die Amplituden werden unendlich, wenn $S(6\nu^2, 1) = 0$ wird. Das ist der Fall, wenn $6\nu^2 = 2s\,(2s+1)$ oder wenn $\nu = 1,\ 1\cdot 83,\ 2\cdot 65,\ 3\cdot 47$ usw.

Bei halbparabolischen Seen tritt also Resonanz bereits bei noch kleineren Perioden der freien Schwingung ein.

Die horizontalen und vertikalen Verlagerungen folgen aus den Gleichungen

$$\xi\,(1-w^2) = \frac{\varkappa}{\sigma^2\, S(6\nu^2, 1)}\,[\{C(6\nu^2, w) - 1\}\,S(6\nu^2, 1) - \{C(6\nu^2, 1) - 1\}\,S(6\nu^2, w)]\,\cos(\sigma t + \varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{\varkappa}{a\,\sigma^2\, S(6\nu^2, 1)}\,[C'(6\nu^2, w)\,S(6\nu^2, 1) - \{C(6\nu^2, 1) + 1\}\,S'(6\nu^2, w)]\,\cos(\sigma t + \varepsilon).$$

3. Fall. Konkavparabolische, nicht symmetrische Beckenform (siehe Fig. 5).

Unter Anwendung der bei Fig. 5 stehenden Bezeichnungen findet man aus den Grenzbedingungen $A = A'$ und $B = \frac{a}{a'}B$ und wenn man $a'\,C(c, 1)\,S(c', 1) + a\,C(c'\,1)\,S(c\,1) = \Delta$ setzt.

$$A = \frac{\varkappa}{\sigma^2\Delta}\,[a\,S(c, 1) + a'\,S(c'\,1)]$$

und

$$B = \frac{a\varkappa}{\sigma^2\Delta}\,[C(c', 1) - C(c, 1)].$$

Daraus folgen für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen die Gleichungen

$$\xi h\,(1-w^2) = \frac{\varkappa}{\sigma^2\Delta}\{[a\,S(c\,1) + a'\,S(c', 1)]\,[C(c, w) - C(c, 1)] + a\,[C(c', 1) - C(c, 1)]$$
$$[S(c, w - S(c, 1)]\}\,\cos(\sigma t + \varepsilon)$$

$$\eta = -\frac{\varkappa}{a\,\sigma^2\Delta}\{[a\,S(c, 1) + a'\,S(c', 1)]\,C'(c, w) + a\,[C(c', 1) \quad C(c, 1)]\,S'(c, w)\}\,\cos(\sigma t + \varepsilon).$$

Analoge Gleichungen gelten für ξ' und η'.

Stimmt die Periode der Kraft mit der Periode der einknotigen freien Schwingung überein, so wird $\Delta = 0$ und es werden die Amplituden der erzwungenen Schwingung unendlich groß.

C. Die allgemeine Lösung für konvexparabolische Beckenform $\sigma(v) = h\left(1-\frac{v^2}{a^2}\right)$ lautet

$$\xi\,(1+w^2)=\left[A\,\mathfrak{C}\,(c,\ w)+B\,\mathfrak{S}\,(c,\ w)-\frac{\varkappa}{\sigma^2}\right]\cos\,(\sigma t+\varepsilon)$$

$$\eta=-\frac{1}{a}\,[A\,\mathfrak{C}'\,(c,w)+B\,\mathfrak{S}'\,(c,w)]\,\cos\,(\sigma t+\varepsilon).$$

1. Fall. Konvexparabolisches symmetrisches Becken (siehe Fig. 7).

Die Grenzbedingungen ergeben $B=0$ und $A=\frac{\varkappa}{\sigma^2\,\mathfrak{C}\,(c,\,1)}$. In diesem Falle werden die Amplituden unendlich, wenn $\mathfrak{C}\,(c,\,1)=0$ wird. Die Periode der einknotigen freien Schwingung ist hier $T_f=\frac{2\pi a}{\sqrt{2\cdot742\,gh}}$; es ist also $c=2\cdot742\,\nu^2$. Mitschwingen tritt ein, wenn $\mathfrak{C}\,(2\ 742\,\nu^2,\,1)=0$ ist, oder wenn $2\cdot742\,\nu^2=2\cdot742,\ 28\cdot230,\ 79\cdot05$ usw., oder $\nu=1,\ 3\cdot21,\ 5\cdot37$ usw.

Bei konvex gestalteten Becken tritt demnach Resonanz erst bei größeren Verhältniszahlen der Periode der freien Schwingungen zur Periode der Kraft ein als bei einem Kanal gleichförmiger Tiefe, wo sie bei $\nu=1,\,3,\,5,\,7\ldots.$ erfolgt.

Die Gleichungen der horizontalen und vertikalen Verschiebungen lauten

$$\xi\,(1+w^2)=\frac{\varkappa}{\sigma^2\,\mathfrak{C}\,(c,\,1)}\,[\mathfrak{C}\,(c,\,w)-\mathfrak{C}\,(c,\,1)]\,\cos\,(\sigma t+\varepsilon)$$

und

$$\eta=-\frac{\varkappa}{\sigma^2}\,\frac{\mathfrak{C}'\,(c,\,w)}{\mathfrak{C}\,(c,\,1)}\,\cos\,(\sigma t+\varepsilon).$$

2. Fall. Halbparabolische, konvexe Beckenform (siehe Fig. 8).

Die Grenzbedingungen ergeben

$$A=\frac{\varkappa}{\sigma^2}\ \text{und}\ B=\frac{\varkappa}{\sigma^2\,\mathfrak{S}\,(c,\,1)}\,[1-\mathfrak{C}\,(c,\,1)].$$

Die Periode der einknotigen freien Schwingung ist $T_f=\frac{2\pi a}{\sqrt{12\cdot34\,gh}}$; daraus folgt $c=12\cdot341\,\nu^2$. Resonanz tritt demnach ein, wenn $\mathfrak{S}\,(12\cdot341\,\nu^2,\,1)=0$ wird, oder wenn $12\cdot341\,\nu^2=12\cdot341,\ 50\cdot46$ usw., also für $\nu=1,\ 2\cdot02$ usw.

Die Gleichungen für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen sind analog jenen für halbparabolische konkave Beckenform; nur treten an Stelle der Funktionen C und S die entsprechenden hyperbolischen Funktionen $\mathfrak{C}$ und $\mathfrak{S}$.

Es ist nicht schwierig, die selbständigen Gezeiten auch für kompliziertere Beckenformen, die sich aus Geraden und Parabelstücken zusammensetzen lassen, abzuleiten. Die einfachen Fälle zeigten bereits, welch bedeutenden Einfluß auf die zustandekommende Schwingungsform das Verhältnis der Eigenperiode des Beckens zur Periode der erzeugenden Kraft besitzt. Die Fälle bei komplizierteren Beckenformen weisen aber auch darauf hin, daß neben dieser Verhältniszahl auch der Beckenform selbst eine besondere Wichtigkeit zukommt, namentlich bei den Bestimmungen der Phase und des Falles, indem Mitschwingen (Resonanz) mit der erzeugenden Kraft eintritt.

C. Die selbständigen Gezeiten im Becken nord-südlicher Erstreckung.

Etwas anders gestalten sich die Verhältnisse in Becken nord-südlicher Erstreckung. Für einen Kanal rechteckigen Querschnitts und konstanter Tiefe h ($x=0$ sei das Südende, $x=l$ das Nordende desselben) hängen die Schwingungen von den Differentialgleichungen

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=c^2\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}-\frac{1}{2}f\sin\frac{2x}{a}-\frac{1}{2}f\sin\frac{2x}{a}\cos 2\,(nt+\varepsilon) \tag{26}$$

und

$$\eta = -h \frac{\partial \xi}{\partial x}$$

ab.

Wir können eine allgemeine Lösung der ersten dieser Gleichungen in der Form

$$\xi = \varphi(t) \sin \frac{2x}{a} + \psi(x) \cos 2(nt + \varepsilon)$$

suchen. Für die Funktionen $\varphi(t)$ und $\psi(x)$ ergeben sich die Bedingungsgleichungen

$$\varphi'' + \frac{4c^2}{a^2}\varphi + \frac{1}{2}f = 0$$

und

$$\psi'' + \frac{4n^2}{c^2} - \frac{1}{2c^2} f \sin \frac{x}{a} = 0.$$

Aus der ersten folgt

$$\varphi(t) = -\frac{a^2}{8c^2}f + M \cos \frac{2c}{a}t + N \sin \frac{2c}{a}t.$$

Aus der zweiten

$$\psi(x) = -\frac{a^2 f}{8[c^2 - n a^2]} \sin \frac{2x}{a} + A \cos \frac{2n}{c}x + B \sin \frac{2n x}{c}.$$

A, B, M und N sind Konstante. Da wir Schwingungen der Periode $\frac{2\pi}{n}$ suchen, können wir die Glieder mit $\cos \frac{2c}{a}t$ und $\sin \frac{2c}{a}t$ fortlassen und die allgemeine Lösung erhält die Form

$$\xi = -\frac{a^2 f}{8c^2} \sin \frac{2x}{a} - \left[\frac{a^2 f}{8[c^2 - n^2 a^2]} \sin \frac{2x}{a} + A \cos \frac{2n}{c}x + B \sin \frac{2n}{c}x\right] \cos 2(nt + \varepsilon).$$

Das erste Glied stellt eine unter der Einwirkung der störenden Kraft des Mondes eintretende beständige Niveauänderung im Kanal dar; um diese neue Niveaufläche vollführten die Wassermassen erzwungene Schwingungen der Periode $\frac{2\pi}{2n}$, die durch das zweite Glied gegeben wird. Das erste Glied interessiert uns deshalb nicht. Die Konstanten A und B sind wieder aus den Grenzbedingungen zu bestimmen; sie lauten $\xi = 0$ für beide Enden des Kanals. Der Kanal erstrecke sich auf einen bestimmten Meridian, von der Breite φ_1 bis zur Breite φ_2; seine Länge sei l; dann ist, wenn $\varphi_1 = \frac{\sigma}{a}$ und $\varphi_2 = \frac{\sigma + l}{a}$ und $x = \sigma + ly$ ist, für das Südende $y = 0$, für das Nordende $y = 1$. Die Länge des Kanals nehmen wir wieder klein an, im Vergleich zur Größe eines Erdquadranten $\frac{a\pi}{2}$.

Unter diesen Voraussetzungen wird

$$\xi = -\frac{a^2 f}{8c^2} \sin \frac{2}{a}(\sigma + ly) - \frac{a^2 f}{8(c^2 - n^2 a^2)} \left[\sin \frac{2}{a}(\sigma + ly) - \frac{1}{\sin \frac{2nl}{c}} \left\{\sin \frac{2\sigma}{a} \sin \frac{2nl}{c}(1-y) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \sin \frac{2(\sigma + l)}{a} \sin \frac{2nl}{c} y\right\}\right] \cos 2(nt + \varepsilon)$$

Wenn die Länge des Kanals klein ist, zur Größe des Erdquadranten, können wir uns die Ungenauigkeit erlauben, für $\sin \frac{2\sigma}{a}$ und $\sin \frac{2}{a}(\sigma + l)$ den mittleren Wert $\sin \frac{2}{a}\left(\sigma + \frac{l}{2}\right) = \sin 2\varphi_m$

zu setzen; φ_m ist die geographische Breite, die den Kanal halbiert. Dann reduziert sich die Gleichung für ξ auf Gleichung 27 und für η erhält man Gleichung 28.

$$27)\qquad \xi = -\frac{a^2 f}{8c^2}\sin\frac{2}{a}(\sigma + ly) - \frac{a^2 f}{8(c^2 - n^2 a^2)}\left[\sin\frac{2}{a}(\sigma + ly) - \frac{\sin 2\varphi_m}{\cos\frac{nl}{c}}\cos\frac{nl}{c}(2y-1)\right]\cos 2(nt+\varepsilon)$$

$$28)\qquad \eta = \frac{af}{4g}\cos\frac{2}{a}(\sigma + ly) + \left[\frac{afc^2}{4g(c^2 - n^2 a^2)}\cos\frac{2}{a}(\sigma + ly) + \frac{a^2 cnf}{4g(c^2 - n^2 a^2)}\frac{\sin 2\varphi_m}{\cos\frac{nl}{c}}\sin\frac{nl}{c}(2y-1)\right]\cos 2(nt+\varepsilon).$$

Durch diese zwei Gleichungen ist die erzwungene Schwingung im Kanal gegeben; mit dem ersten Gliede jeder Gleichung brauchen wir uns nicht weiter zu befassen; sie stellen eine durch die Einwirkung des störenden Körpers eintretende Niveauverschiebung dar; das folgende Glied gibt eine Schwingung um diese neue Niveaulage. Der Klammerausdruck ist die Amplitude dieser Schwingung. Wir sehen zunächst, daß diese unendlich wird, wenn $\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1 = 0$ wird. Nun ist $\frac{c^2}{n^2 a^2} = 291\cdot 1\,\frac{h}{a}$; der Ausdruck wird also Null, wenn $h = 22\ km$. Es gibt keine Meere, welche eine derartige Tiefe besitzen. Der Ausdruck $\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1$ verschwindet also auf unserer Erde nie; er ist stets negativ, und zwar von 1 nicht viel verschieden, wie folgende Tabelle zeigt, in welcher für verschiedene Werte von h der Ausdruck $1 - \frac{c^2}{n^2 a^2}$ berechnet wurde.

$h =$	50	100	200	300	500	1000	2000 m
$1 - \frac{c^2}{n^2 a^2} =$	0·9977	0·9954	0·9909	0·9863	0·9772	0·9543	0·9086

Die Schwingung ist also, insoweit sie von diesem Gliede abhängig ist, für die Verhältnisse auf unserer Erde stets indirekt zur Periode der Kraft. Wir wollen uns nun weiter orientieren über die Größe der Amplitude.

Die Schwingung mit halber Mondperiode zerfällt in zwei Teile; der erste lautet:

$$\eta_1 = \frac{afc^2}{4g\,n^2 a^2\left(\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1\right)}\cos\frac{2}{a}(\sigma + ly)\cos 2(nt+\varepsilon).$$

Wir können nun $ly = \frac{l}{2} + \frac{l}{2}z$ setzen, wobei z die Werte -1 bis $+1$ durchläuft, wenn y die Werte von 0 bis $+1$ annimmt. Dann wird

$$\cos\frac{2}{a}(\sigma + ly) = \cos 2\varphi_m \cos\frac{l}{a}z - \sin 2\varphi_m \sin\frac{l}{a}z.$$

Da $\frac{l}{a}$ eine kleine Größe ist, setzen wir statt des sin den Bogen und statt des cos 1, dann wird:

$$\eta_1 = \frac{afc^2}{4g\,n^2 a^2\left(\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1\right)}\left[\cos 2\varphi_m - \frac{l}{a}z\sin 2\varphi_m\right]\cos 2(nt+\varepsilon).$$

Das erste Glied im Klammerausdruck, das von z unabhängig ist, gibt eine gleichzeitige Hebung oder Senkung des gesamten Wasserspiegels, was bei einer abgeschlossenen Wassermasse unmöglich ist. Das erste Glied hat also keine physikalische Bedeutung; η_1 reduziert sich dann auf

$$\eta_1 = \frac{a f c^2 \sin 2\varphi_m}{4 g n^2 a^2 \left(\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1\right)} \frac{l}{a} z \cos 2(nt + \varepsilon).$$

Am Südende des Kanals ($z = -1$) beträgt die durch diese Teilschwingung erzeugte Hubhöhe

$$2\eta_1 = \frac{2 f c^2 l \sin 2\varphi_m}{4 g n^2 a^2 \left(\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1\right)}.$$

Über die Größenordnung dieser Hubhöhe können wir uns orientieren, wenn wir den Ausdruck für einen bestimmten Fall zahlenmäßig berechnen. Wählen wir die Tiefe des Kanals $h = 500\ m$; er erstrecke sich über 15 Breitengrade; dann ist $\frac{l}{a} = \frac{15\pi}{180}$ und φ_m sei 20°. Dann erhält man $2\eta_1 = 0{\cdot}155\ cm$. Die Amplitude der Teilschwingung ist also so klein, daß wir sie ohne Bedenken ignorieren können. Für eventuelle Gezeiten in einem Kanal nord-südlicher Erstreckung kommt also bloß das dritte Glied in Betracht.

Es lautet:

$$29)\qquad \eta_2 = \frac{c f \sin 2\varphi_m}{4 g n \left(\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1\right)} \frac{\sin \frac{nl}{c}(2y - 1)}{\cos \frac{nl}{c}} \cos 2(nt + \varepsilon).$$

Die Periode der einknotigen freien Schwingung des Kanals ist $T_f = \frac{2l}{\sqrt{gh}} = \frac{2l}{c}$, die Periode der erzeugenden Kraft $T_k = \frac{\pi}{n}$. Bezeichnen wir wie früher das Verhältnis $T_f : T_k = \nu$, so wird $\frac{nl}{c} = \frac{\pi}{2}\nu$ und η_2 wird

$$30)\qquad \eta_2 = \frac{f l \sin \varphi_m \cos \varphi_m}{g \pi \nu \left[\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1\right]} \frac{\sin \nu \frac{\pi}{2}(2y - 1)}{\cos \nu \frac{\pi}{2}} \cos 2(nt + \varepsilon)$$

Die Gleichung hat nahezu dieselbe Form wie die Gleichung 19, welche die Schwingungen in einem Kanal west-östlicher Erstreckung in der Breite φ gibt. Es tritt hier noch der Faktor $\sin \varphi_m$ hinzu; sonst sind die Gleichungen identisch, wenn wir vom Faktor $1 : \left(\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1\right)$, der für die in Betracht kommenden Tiefen ja nahezu den Wert 1 hat, absehen.[1] Wir gelangen also zum Schlusse:

[1] Dieses Resultat hätte man bis auf den Faktor $-1 : \left(\frac{c^2}{n^2 a^2} - 1\right)$, der meistens von $+1$ wenig verschieden ist, nach der Theorie der erzwungenen Schwingungen in Kanälen sofort hinschreiben können, wenn man als störende Kraft den Ausdruck $X = -\frac{f}{2} \sin 2\varphi \cos 2(nt + \varepsilon)$ genommen hätte.

Diese Form für die fluterzeugende Kraft ergibt sich auch aus der allgemeinen, wenn man schon am Anfang die später im Verlaufe der Rechnung aufgenommenen Vereinfachungen einführt. Siehe 3. Abschnitt, p. 14; hier war $\cos \vartheta = \cos \frac{x}{a} \cos (nt + \varepsilon)$.

Die selbständigen Gezeitenerscheinungen in einem Kanal nord-südlicher Erstreckung in der mittleren Breite φ_m sind von derselben Form wie in einem gleichen Kanal west-östlicher Erstreckung; nur sind die Amplituden der Schwingungen im letzteren Falle im Verhältnis von $1 : \sin \varphi_m$ größer. In der Nähe des Äquators und in hohen Breiten werden deshalb die selbständigen Gezeiten in einem Kanal nord-südlicher Erstreckung unbedeutend; am Äquator und am Pol verschwinden sie völlig. Am größten sind sie in einem Kanal, dessen mittlere Breite 45° beträgt. Betreffs der näheren Diskussion verweisen wir auf Gleichung 19 und die dortigen Erörterungen.

Da $\alpha = nt + \varepsilon$ der Stundenwinkel des störenden Körpers (Mondes) bezogen auf den Meridian des Kanals ist, so treten in einem abgeschlossenen Meere nord-südlicher Erstreckung die Maxima und Minima der Gezeiten zur Zeit des Meridiandurchganges von Sonne und Mond, beziehungsweise Gegenmond ein. Zur Zeit der Syzygien werden die Hafenzeiten 0^h und 6^h betragen, und zwar, wenn $\nu < 1$ ist, tritt nach Gleichung 6 für das Südende des Kanals ($y = 0$) das Maximum der vertikalen Erhebung ein, wenn $\alpha = 0$ und π wird, für das Nordende dagegen, wenn $\alpha = \frac{\pi}{2}$ oder $\frac{3\pi}{2}$ wird. Die Hafenzeit beträgt demnach für das Südende 0^h, für das Nordende 6^h; ist dagegen $\nu > 1$, so kehren sich die Verhältnisse um, das Südende hat die Hafenzeit 6^h, das Nordende dagegen die Hafenzeit 0^h.

D. Die selbständigen Gezeiten in Becken, deren Längsachse sich in beliebiger Richtung erstreckt.

Wir haben bisher nur abgeschlossene Wasserbecken betrachtet, deren Längsachse sich entweder genau in west-östlicher oder in nord-südlicher Richtung erstreckte. Ist dies nun nicht der Fall, so ändern sich die Verhältnisse. Das auf allen Seiten geschlossene Becken besitzt eine Haupterstreckung die mit der Nord-Süd-Richtung den Winkel ε bilde. Auf ein beliebiges Wasserteilchen des Beckens wirken zwei Kräfte, die von den Anziehungskräften von Sonne und Mond herrühren und die wir in den vorhergehenden Abschnitten bereits berechnet haben: gegen Süden wird die Anziehungskraft $X = f \sin \varphi \cos \varphi \cos \frac{2\pi}{T} t$; die Phase ist 0^h, die Periode $T = 12$ Mondstunden; gegen Osten hin wirkt hingegen die Anziehungskraft $Y = f \cos \varphi \cos \frac{2\pi}{T} (t - 9^h)$. Ihre Phase ist 9^h, ihre Periode wieder T.

Betrachten wir die selbständigen Gezeitenschwingungen, die in der Richtung der Längsachse des Wasserbeckens unter der Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte von Sonne und Mond zur Ausbildung gelangen, so müssen wir als wirkende Kraft Z die Summe der in der Richtung der Längsachse fallenden Komponenten der Kräfte X und Y nehmen. Es ist also

$$Z = f \sin \varphi \cos \varphi \cos \varepsilon \cos \frac{2\pi}{T} t + f \cos \varphi \sin \varepsilon \cos \frac{2\pi}{T} (t - 9).$$

Durch Umformung erhält man

$$Z = f \beta \cos \varphi \cos \frac{2\pi}{12} (t - H), \tag{31}$$

Setzt man für $x = \sigma + ly$ und bedenkt, daß $\frac{l}{a}$ eine sehr kleine Größe ist, so kann man für den cos die Einheit und für den sin den Bogen setzen, dann wird

$$\cos \vartheta = \left[\cos \frac{\sigma}{a} - \frac{l}{a} y \sin \frac{\sigma}{a}\right] \cos (nt + \varepsilon)$$

Nun ist

$$X = -\frac{\partial \Omega}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} fa \left[\frac{1}{3} - \cos^2 (nt + \varepsilon) \left(\cos \frac{\sigma}{a} - \frac{l}{a} y \sin \frac{\sigma}{a}\right)^2\right].$$

Daraus folgt für X der obige Ausdruck, wenn man $\frac{l}{a} y \operatorname{tg} \frac{\sigma}{a}$ gegenüber 1 vernachlässigt.

worin die Größen β und H durch die Gleichungen

$$\text{32)} \qquad \operatorname{tg} \frac{2\pi}{12} H = -\frac{\operatorname{tg} \varepsilon}{\sin \varphi}$$

und

$$\text{33)} \qquad \beta^2 = \sin^2 \varepsilon + \sin^2 \varphi \cos^2 \varepsilon$$

gegeben sind.

Die Phase und die Amplitude der fluterzeugenden Kraft hängt demnach von der Hauptrichtung der abgeschlossenen Wassermasse ab; je nach der Lage des Meeres schwankt die Phase der Kraft zwischen 0^h und 9^h; sie hängt aber auch, da die Kraft in nord-südlicher Richtung sowie jene in ost-westlicher Richtung von der geographischen Breite nicht unabhängig sind, von letzterer ab; folgende kleine Tabelle gibt zur Orientierung für verschiedene Werte von ε und φ im ersten Quadranten die numerischen Werte von β und H.

Werte für H und β bei verschiedenen ε und φ

$\varepsilon \rightarrow$	0°		15°		30°		45°		60°		75°		90°	
$\varphi \downarrow$	β	H	β	H	β	H	β	H	β	H	β	H	β	H
0°	—	—	0·03	9^h	0·50	9^h	0·71	9^h	0·87	9^h	0·97	9^h	1·00	9^h
15°	0·03	0^h	0·36	$10·4^h$	0·55	$9·8^h$	0·73	$9·5^h$	0·88	$9·3^h$	0·97	$9·1^h$	1·00	9^h
30°	0·50	0^h	0·55	$11·1^h$	0·66	$10·4^h$	0·79	$9·9^h$	0·90	$9·5^h$	0·98	$9·3^h$	1·00	9^h
45°	0·71	0^h	0·73	$11·3^h$	0·77	$10·7^h$	0·84	$10·2^h$	0·94	$9·7^h$	0·98	$9·4^h$	1·00	9^h
60°	0·87	0^h	0·88	$11·4^h$	0·88	$10·9^h$	0·94	$10·4^h$	0·97	$9·9^h$	0·98	$9·4^h$	1·00	9^h
75°	0·97	0^h	0·97	$11·5^h$	0·98	$11·0^h$	0·98	$10·5^h$	0·99	$10·0^h$	1·00	$9·5^h$	1·00	9^h
90°	1·00	0^h	1·00	$11·5^h$	1·00	$11·0^h$	1·00	$10·5^h$	1·00	$10·0^h$	1·00	$9·5^h$	1·00	9^h

Ist die Richtung der Längsachse eines Meeres nicht genau nord-südlich, beziehungsweise west-östlich, so müssen wir als fluterzeugende Kraft die durch die Gleichung 31 festgelegte Kraft Z nehmen und mit dieser die Bestimmung der Hubhöhen längs der Hauptrichtung des Meeres, beziehungsweise der Hafenzeiten auf beiden Seiten der auftretenden Knotenlinien durchführen. Die Erörterungen über die selbständigen Gezeiten im Becken west-östlicher Erstreckung sind also sinngemäß auf diese Fälle direkt übertragbar; wir wollen uns deshalb nicht weiter damit befassen.

E. Die Bestimmung der Schwingungsform der selbständigen Gezeiten in abgeschlossenen Wassermassen nach der Restmethode.

Ähnlich wie die Ermittlung der Schwingungsform der freien Schwingungen abgeschlossener Wassermassen ohne direkte Lösung der Differentialgleichungen gelingt auch die Ermittlung der Schwingungsform der selbständigen Gezeiten ohne direkte Lösung der diesbezüglichen Differentialgleichungen; dieses praktische Verfahren beruht auf folgenden Überlegungen: Die Differentialgleichungen der horizontalen und vertikalen Wasserverschiebung unter Einwirkung einer gleichförmigen periodischen Kraft $X = \varkappa \cos(\sigma t + \varepsilon)$ lauten:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \varkappa \cos(\sigma t + \varepsilon) \qquad \text{und} \qquad \eta = -\frac{1}{b(x)} \frac{\partial}{\partial x} [S(x) . \xi].$$

Für ξ und η wählen wieder periodische Funktionen

$$\xi_0(x) \cos(\sigma t + \varepsilon) \qquad \text{und} \qquad \eta_0(x) \cos(\sigma t + \varepsilon).$$

Dann müssen die Funktionen $\xi_0(x)$ und $\eta_0(x)$ die Bedingungsgleichungen erfüllen

$$\sigma^2 \xi_0 = g \frac{d\eta_0}{dx} - \varkappa \qquad \text{und} \qquad \eta_0 = -\frac{1}{b(x)} \frac{\partial}{\partial x} [S(x)\, \xi_0].$$

Wir ersetzen nun, wie früher, in der ersten Gleichung den Differentialquotienten durch den Differenzenquotienten und integrieren die zweite Gleichung. Dadurch gelangt man zu den Gleichungen:

$$2\Delta \eta_0 = \left[\frac{4\pi^2}{g T_x^2}\, 2\xi_0 + \frac{2\varkappa}{g}\right] \Delta x \tag{34}$$

und

$$2\xi_0 = -\frac{1}{S(x)} \int_0^x 2\eta\, b(x)\, dx.$$

Zu diesen Gleichungen tritt nun noch die Grenzbedingung, daß $\xi = 0$ für beide Enden der abgeschlossenen Wassermasse. Hat man für ein beliebig geformtes Wasserbecken wieder eine größere Anzahl von Querschnitten senkrecht zum Talweg gelegt und ihre Flächeninhalte $S(x)$ sowie die Breite des Beckens $b(x)$, an diesen Stellen, ermittelt, so kann man, ähnlich wie früher, schrittweise die Werte ξ_0 und η_0 für jeden Querschnitt berechnen. Hier ist T_x die Periode der Kraft fix gegeben; als einzig verfügbare Größe bleibt $2\eta_0$ an einem Ende des Sees, an welcher Stelle ja $\xi_0 = 0$ ist. Diese muß so gewählt werden, daß auch am anderen Fnde $\xi_0 = 0$ wird. Bei der Rechnung von $2\Delta\eta_0$ ist zu beachten, daß im Faktor von Δx immer bei jedem Querschnitt $\frac{2\varkappa}{g}$ dazu addiert werden muß; hierin steckt der Einfluß der fluterzeugenden Kraft. Rechnet man mit einem beliebig gewählten $2\eta_0$ am ersten Querschnitt, so wird man am anderen Ende sicherlich ξ_0 nicht Null finden. Man muß dann die Rechnung mit einem größeren oder kleineren Wert wiederholen, bis es gelingt, die durch den letzten Querschnitt hindurchzuschiebende Wassermenge q zwischen einer positiven und negativen Zahl einzuschließen. Dann wissen wir, daß auch der gesuchte Wert $2\eta_0$ zwischen den gewählten $2\eta_1$ und $2\eta_2$ liegt. Die ganze Rechnung kann allerdings zu einem Geduldspiel werden, das jedoch wesentlich abgekürzt wird, wenn man als ersten Wert für $2\eta_0$ jenen wählt, der sich nach der Formel 19 für einen Kanal ergibt, der die gleiche Länge, jedoch eine konstante Tiefe, die der mittleren Tiefe des betrachteten unregelmäßigen Beckens entspricht, hat. Denn dies ist sicherlich ein erster genäherter Wert zu $2\eta_0$. Das Resultat der vielleicht etwas langwierigen Rechnung ist aber dann ein einwandfreies und von jeder willkürlichen Annahme unabhängiges; es gibt die ganze Schwingungsform der selbständigen Gezeiten, die Lage der Knotenlinien, die Amplitudenverteilung für das ganze Becken. Die Methode hat vor den anderen den großen Vorteil, daß ihre Anwendbarkeit von den Gestaltverhältnissen des Beckens unabhängig ist.

4. Das Mitschwingen von Randmeeren mit der Gezeitenbewegung des äußeren Meeres.

Steht ein Randmeer durch eine mehr oder minder breite Meeresstraße mit dem Ozean in Verbindung, so wird die nur zum Teil abgeschlossene Wassermasse des Randmeeres auf die durch die Meeresstraße vom freien Ozean her eindringenden Schwingungsimpulse reagieren und je nach den Gestaltverhältnissen des Beckens in bestimmte Schwingungen geraten; wir sagen dann, der zum Teil abgeschlossene Meeresteil schwingt mit der äußeren Gezeitenbewegung mit. Auch hier wollen wir zunächst den einfachsten Fall behandeln, daß das Randmeer aus einem Kanal gleichförmiger Breite und Tiefe bestehe, der an einem seiner Enden mit dem äußeren Meere in direkter Verbindung stehe, in dem eine Gezeitenbewegung $\eta_a = Z \cos(\sigma t + \varepsilon)$ stattfindet.

A. Kanal gleichförmiger Breite und Tiefe.

Der Koordinatenursprung ($x = 0$) liege am geschlossenen Ende des Kanals; die Länge des letzteren sei l. Dann lauten die diesbezüglichen Differentialgleichungen:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad \text{und} \quad \eta = -h \frac{\partial \xi}{\partial x}.$$

Die Grenzbedingungen sind $\xi = 0$ für das geschlossene Ende des Kanals ($x = 0$) und für die Mündung des Kanals ins offene Meer ($x = l$) $\eta = Z \cos(\sigma t + \varepsilon)$. Die Lösung der Differentialgleichungen für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen lautet sodann:

$$35) \qquad \xi = -Z \frac{l}{\nu\pi h} \frac{\sin \nu\pi y}{\cos \nu\pi} \cos(\sigma t + \varepsilon) \quad \text{und} \quad \eta = Z \frac{\cos \nu\pi y}{\cos \nu\pi} \cos(\sigma t + \varepsilon).$$

Hierin ist $y = \frac{x}{l}$ und ν wie früher das Verhältnis der Eigenperiode des Kanals $T = \frac{2l}{\sqrt{gh}}$ zur Periode der äußeren Gezeitenbewegung $T_\varkappa = \frac{2\pi}{\sigma}$.

Die Ausbildung der einzelnen Schwingungen im Kanal, angeregt durch die Gezeitenbewegung im offenen Ozean, hängt also vor allem vom Parameter ν ab, welcher in direkter Beziehung zu den Gestaltsverhältnissen des Kanals steht. Die obige Lösung verliert ihren Sinn für solche Werte von ν, für die $\cos \nu\pi = 0$ wird; die Amplitude der Schwingungen wird dann unendlich groß; es tritt der Fall der Resonanz ein. Dies erfolgt bei den Werten $\nu = {}^1/_2, {}^3/_2, {}^5/_2$ usw., also dann, wenn die Eigenperiode des Kanals das ${}^1/_2$-, ${}^3/_2$- usw. -fache der Periode der äußeren Gezeitenbewegung beträgt.

Die Anzahl der Knotenlinien der einzelnen Schwingungen ergibt sich aus der Gleichung $\cos \nu\pi y = 0$ ($y = 0$ am geschlossenen, $y = 1$ am offenen Ende des Kanals). Die Lösung ist $y = \frac{\varkappa}{2\nu}$, $\varkappa = 1, 3, 5, 7 \ldots$ wobei $0 \leqq y \leqq 1$ ist. Daraus ergibt sich folgende Übersicht über die Anzahl der Knotenlinien:

ν	$< {}^1/_2$	${}^1/_2$ bis ${}^3/_2$	${}^3/_2$ bis ${}^5/_2$	${}^5/_2$ bis ${}^7/_2$	usw.
$\varkappa$	—	1	1, 3	1, 3, 5	»
Anzahl der Knoten	0	1	2	3	»

Die Lage der Knotenlinien ergibt sich aus der obigen Gleichung. Figur 10 gibt für $\nu = 0 \cdot 3$, $0 \cdot 7$ $1 \cdot 3$, $1 \cdot 7$, $2 \cdot 3$ und $2 \cdot 7$ die Schwingungsform; für Z wurde in allen Fällen 10 *mm* genommen. Man ersieht aus ihr, wie verschieden bei gleicher Gezeitenbewegung im offenen Meere die Verteilung der Hubhöhen im Kanal sein kann. R. Witting[1] hat auch in diesem Falle die Reibung in Betracht gezogen und nachgewiesen, daß bei Reibung die Amplituden der im Kanal durch die Gezeitenbewegung im offenen Meer erregten Schwingungen bei $\nu = {}^1/_2, {}^3/_2, {}^5/_2$ usw. endlich bleiben, jedoch in der Nähe dieser Werte endliche maximale Werte annehmen. Durch die Reibung tritt außerdem noch eine Phasenverschiebung ein.

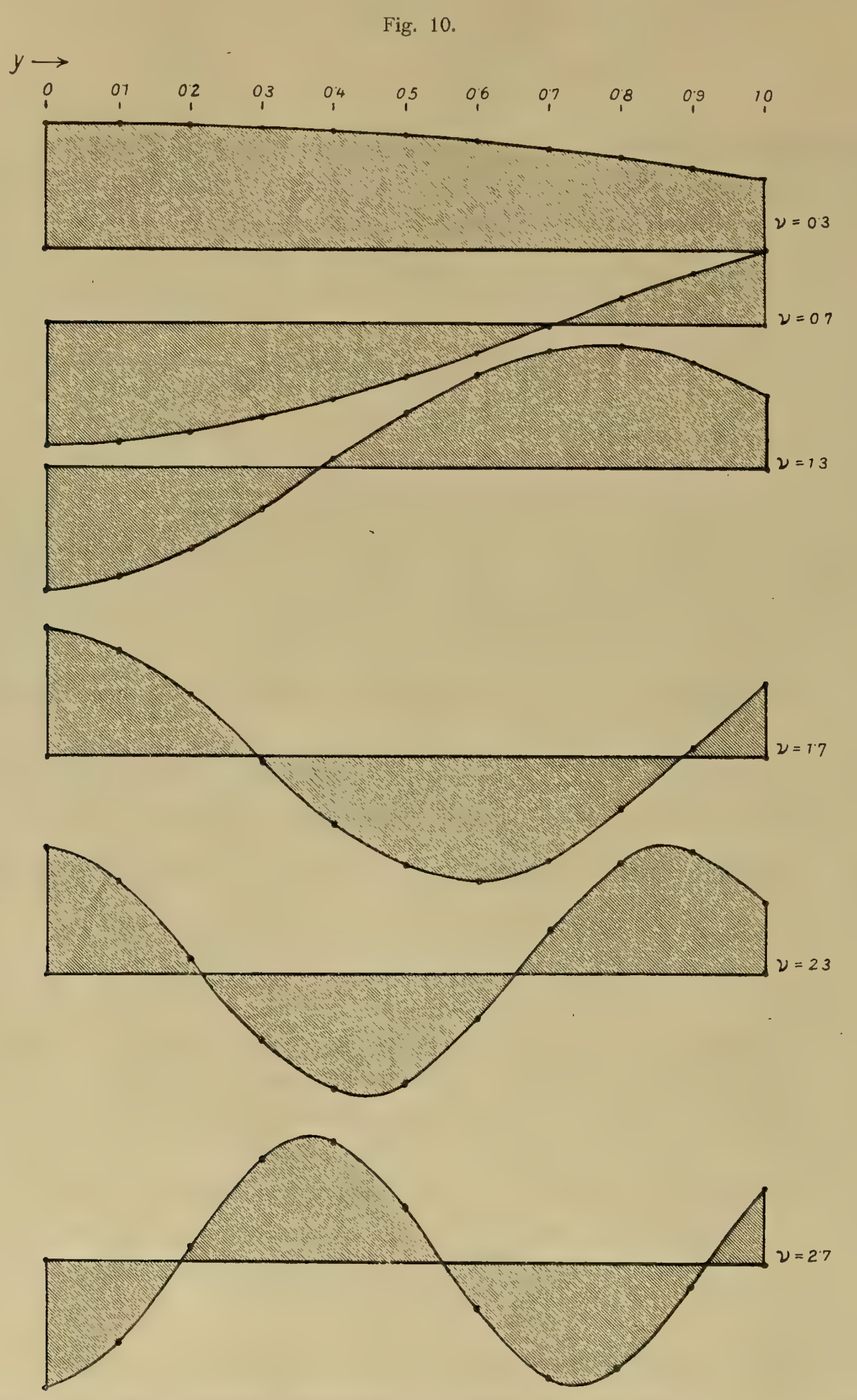
B. Das Mitschwingen in Becken wechselnder Breite und Tiefe.

Die orographischen Verhältnisse des durch eine Meerenge mit dem offenen Meere in Verbindung stehenden Wasserbeckens spielen bei Mitschwingen der nur teilweise abgeschlossenen Wassermasse mit der Gezeitenbewegung des äußeren Meeres eine überaus wichtige Rolle. Bei den Becken wechselnder Breite und Tiefe haben wir bereits bei Erörterung der freien Schwingungen die diesbezüglichen Lösungen der Differentialgleichungen gegeben. Gegenüber den freien Schwingungen ändern sich beim

[1] L. c., p. 68 u. ff.

Mitschwingen mit der äußeren Gezeitenbewegung nur die Grenzbedingungen. In den Hauptfällen wollen wir im folgenden die Gleichungen für die horizontalen und vertikalen Verlagerungen der Wasserteilchen mitteilen.

Fig. 10.



Schwingungsform in einem Kanal konstanter Breite und Tiefe, welcher bei $y = 1$ mit einem offenen Meere mit Gezeitenbewegung in Verbindung steht.

1. Fall. Für eine Normalkurve, welche die Form eines abgestumpften Dreieckes besitzt (siehe Fig. 3), lautete die allgemeine Lösung der Differentialgleichungen:

$$\xi w = \frac{2a}{h}\left[A J_1(w) + B Y_1(w)\right] \cos(nt + \varepsilon) \quad \text{und} \quad \eta = \left[A J_0(w) + B Y_0(w)\right] \cos(nt + \varepsilon),$$

wobei

$$w = \frac{2na}{\sqrt{gh}}\sqrt{1-\frac{v}{a}}, \quad \alpha = \frac{2a}{\sqrt{gh}} \text{ und } \beta = \frac{2a}{\sqrt{gh}}\sqrt{1-\frac{p}{a}} \text{ ist.}$$

Die Grenzbedingungen zur Ermittlung der Konstanten A und B sind $\xi = 0$ für $v = p$ und $\eta = Z\cos(\sigma t + \rho)$ für $v = 0$. Daraus folgt

$$\xi w = \frac{2a}{h} Z \frac{Y_1(\sigma\beta) J_1(w) - J_1(\sigma\beta) Y_1(w)}{J_0(\sigma a) Y_1(\sigma\beta) - J_1(\sigma\beta) Y_0(\sigma\alpha)} \cos(\sigma t + \rho) \text{ und}$$

$$\eta = Z \frac{Y_1(\sigma\beta) J_0(w) - J_1(\sigma\beta) Y_0(w)}{J_0(\sigma\alpha) Y_1(\sigma\beta) - J_1(\sigma\beta) Y_0(\sigma\alpha)} \cos(\sigma t + \rho).$$

Die Periodengleichung der freien Schwingung hat für dieses Becken die Form:

$$J_0(n\alpha)\, Y_1(n\beta) - J_1(n\beta)\, Y_0(n\alpha) = 0.$$

Wir sehen, daß die Amplituden der erregten Gezeitenbewegung unendlich werden, wenn $\sigma = n$ ist. Die Knotenlinien erhält man für jene Werte von w, für welche $Y_1(\sigma\beta) J_0(w) - J_1(\sigma\beta) Y_0(w) = 0$ ist.

2. Fall. Läuft in Figur 3 bei A das Becken spitz zu, hat also die Normalkurve die Form eines Dreieckes, dann ist in den vorhergehenden Gleichungen $\beta = 0$ zu setzen; es folgt daraus

$$\xi w = \frac{2a}{h} Z \frac{J_1(w)}{J_0(\sigma\alpha)} \cos(\sigma t + \rho) \text{ und } \eta = Z \frac{J_0(w)}{J_0(\sigma\alpha)} \cos(\sigma t + \rho).$$

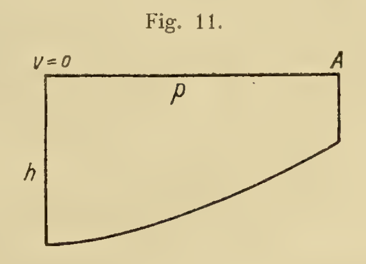
Die Perioden der freien Schwingungen sind in diesem Falle $T_f = \frac{2\pi}{n} = \frac{4\pi a}{j_{2r}\sqrt{gh}}$, dann wird $\nu = \frac{T_f}{T_x} = \frac{\alpha\sigma}{j_{2r}}$ und die Gleichung für die vertikalen Verschiebungen nimmt die Form $\eta = Z \frac{J_0(\nu j_{2r} y)}{J_0(\nu j_{2r})}$ an, wenn $y = 0$, beziehungsweise 1 ist, für $v = a$, beziehungsweise 0.

Die Amplituden der Schwingungen werden unendlich, wenn $3\cdot832\,\nu = 2\cdot405$, $5\cdot520$, $8\cdot654$, $11\cdot792$, $14\cdot931$ usw. oder wenn ν die Werte 0·63, 1·44, 2·26, 3·08, 3·84 annimmt. Die Lage der Knotenlinien der erzwungenen Schwingung folgt aus der Gleichung $J_0(3\cdot832\,\nu y) = 0$ oder $y = \frac{j_{2r+1}}{\nu}$, $\nu = 0$, 1, 2, 3 usw.

Für weitere Normalkurven, die aus Geraden bestehen, läßt sich die Lösung ohne Schwierigkeiten berechnen; doch werden die Ausdrücke für ξ und η bereits sehr umfangreich, weshalb wir hier von der Wiedergabe derselben absehen wollen.

3. Fall. Abgestumpftes konkavparabolisches Becken (Fig. 11). Die allgemeine Lösung lautet

Fig. 11.



$$\xi(1-w^2) = [A\,C(c, w) + B\,S(c, w)] \cos(nt + \varepsilon) \qquad \eta = -\frac{1}{2}[A\,C'(c, w) + B\,S'(c, w)] \cos(nt + \varepsilon).$$

Hiebei ist

$$w = \frac{v}{a} \quad \text{und} \quad c = \frac{n^2 a^2}{gh}.$$

Die Grenzbedingungen sind für $v = p$, $\xi = 0$ und für $v = 0$ $\eta = Z \cos(\sigma t + \rho)$. Hieraus folgen die Gleichungen für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen in der Form

$$\xi (1 - w^2) = \frac{aZ}{C(c,\beta)} [S(c,\beta)\, C(c,w) - C(c,\beta)\, S(c,w)] \cos(\sigma t + \rho)$$

$$\eta = - \frac{Z}{C(c,\beta)} [S(c,\beta)\, C'(c,w) - C(c,\beta)\, S'(c,w)] \cos(\sigma t + \rho).$$

Hiebei ist $\beta = \frac{p}{a}$.

4. Fall. Lauft in obiger Beckenform die Normalkurve bei A spitz zu, so daß sie ein halbes Parabelstück wird, dann wird $\beta = 1$ und die Gleichung für η nimmt die Form an:

$$\eta = - \frac{Z}{C(c,\,1)} [S(c,\,1)\, C'(c,w) - C(c,1)\, S'(c,w)] \cos(\sigma t + \rho).$$

Die Amplituden werden hier unendlich für solche Werte von c, für die $C(c,\,1) = 0$ ist. Nun ist die Periode der einknotigen freien Schwingung dieses Beckens $T_f = \frac{2\pi a}{\sqrt{2.3\, g h}}$; daraus folgt $c = \sigma \nu^2$, wenn wieder $\nu = \frac{T_f}{T_x}$ ist und C $(\sigma\nu^2, 1)$ wird gleich 0, für $6\nu^2 = 1.2$, oder $3.4 \ldots . (2s - 1)\, 2s \ldots$ also für $\nu = 0{\cdot}577$, $1{\cdot}414$, $2{\cdot}236$, $3{\cdot}055$ usw., also für Werte, die von jenen, welche für einen Kanal konstanter Tiefe erhalten wurden, ziemlich abweichen; sie sind alle, bis auf den ersten, kleiner als die dort gefundenen. Ist $\nu = 1$, stimmt die Periode der äußeren Gezeitenbewegung mit der Periode der einknotigen freien Schwingung des Beckens überein, so wird $S,(6,\, w) = 0$ und die Gleichung für η reduziert sich, da $C(6, 1) = -\frac{1}{2}$ und $S'(6, w) = 1 - 3w^2$ ist, auf $\eta = -\frac{Z}{2}(1 - 3w^2)\cos(\sigma t + \rho)$. Die Knotenlinie dieser Schwingung liegt bei $v = 0{\cdot}577\, a$, also nahezu in der Mitte des Beckens, etwas gegen das innere Ende zu.

5. Fall. Hat die Normalkurve des Randmeeres die Form der Figur 12 und bezeichnen wir wieder

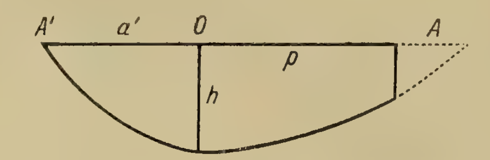
$$w = \frac{v}{a},\; w' = \frac{v}{a'}, \text{ und } \beta = \frac{p}{a},$$

dann

$$c = \frac{a^2 n^2}{gh},\; c' = \frac{a'^2 n^2}{gh},$$

so nehmen unter den Grenzbedingungen für $v = -a'$, $(w' = -1)$, $\xi' = 0$ für $v = 0$ $(w = 0)$, $\xi = \xi'$

Fig. 12.



und $\eta = \eta'$; weiters für $v = p$ $\eta = Z \cos(\sigma t + \rho)$ die Konstanten A, B, A' und B' der allgemeinen Lösung die Form an:

$$A = A' = \frac{a a' Z S(c', 1)}{a\, C(c', 1)\, S'(c, \beta) + a'\, C'(c, \beta)\, S(c', 1)},\quad B = \frac{a^2 Z C(c', 1)}{a\, C(c', 1)\, S'(c, \beta) + a'\, C'(c, \beta)\, S(c', 1)}$$

und

$$B' = \frac{a'}{a} B.$$

Die Periode der freien Schwingungen lautet für diese Beckenform

$$a\, C(c', 1)\, S(c, \beta) + a'\, C(c, \beta)\, S(c', 1) = 0;$$

für welche Werte von c und c' die Größen A, A', B und B' unendlich werden, kann nur in speziellen Fällen untersucht werden.

Im speziellen Falle eines symmetrischen Beckens wird $a = a'$. Lassen wir bei A das Becken außerdem spitz zulaufen, so wird $\beta = 1$, $c = c'$ und die Amplituden der erzwungenen Schwingungen werden unendlich, wenn $C(c, 1)\, S'(c, 1) + C'(c, 1)\, S(c, 1) = 0$ wird. Die Periode der einknotigen freien Schwingung eines symmetrisch parabolischen Beckens ist

$$T_f = \frac{2\pi a}{\sqrt{2gh}}; \quad \text{da } c = \frac{a^2\sigma^2}{gh}$$

ist, wird $c = 2\nu^2$ und die Bedingungsgleichung für Resonanz wird

$$C(2\nu^2, 1)\, S'(2\nu^2, 1) + C'(2\nu^2, 1)\, S(2\nu^2, 1) = \Delta = 0.$$

Δ nimmt, wenn man für $2\nu^2$ der Reihe nach folgende Werte annimmt, folgende Größe an:[1]

$2\nu^2 =$ 0	0·6	1	2	3	4	6
$\Delta =$ 1	—0·38	—0·845	—1	—0·412	+0·247	+1.

Die ersten zwei Wurzeln von $\Delta = 0$ sind daher in erster Annäherung $2\nu^2 = 0\cdot4$ und $2\nu^2 = 3\cdot6$ Daraus folgt $\nu = 0\cdot63$ und $1\cdot34$. Bei diesen Verhältniszahlen der Periode der freien Schwingung zur Periode der äußeren Gezeitenbewegung werden die Amplituden der erregten Schwingung unendlich. Für Werte von $\nu < 0\cdot63$ hat die Schwingung keinen Knoten; für Werte $0\cdot63 \leqq \nu \leqq 1\cdot34$ einen Knoten, für $\nu \geqq 1\cdot34$ zwei Knoten. Hiebei liegt die äußere Knotenlinie sehr nahe der Mündung, wenn ν nur wenig den Wert $1\cdot34$ übersteigt.

6. Fall. Ähnlich sind die Verhältnisse für konvex parabolische Normalkurven. Die Gleichungen für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen werden bei symmetrisch konvex parabolischer Normalkurve (siehe Figur 7), wenn bei A die Mündung ins offene Meer ist:

$$\xi h\,(1 + w^2) = -\,a Z\, \frac{\mathfrak{S}(c, 1)\, \mathfrak{C}(c, w) + \mathfrak{C}(c, 1)\, \mathfrak{S}(c, w)}{\mathfrak{C}'(c, 1)\, \mathfrak{S}(c, 1) + \mathfrak{C}(c, 1)\, \mathfrak{S}'(c, 1)} \cos(\sigma t + \rho)$$

$$\eta = Z\, \frac{\mathfrak{S}(c, 1)\, \mathfrak{C}'(c, w) + \mathfrak{C}(c, 1)\, \mathfrak{S}'(c, w)}{\mathfrak{C}'(c, 1)\, \mathfrak{S}(c\, 1) + \mathfrak{C}(c, 1)\, \mathfrak{S}'(c, 1)} \cos(\sigma t + \rho).$$

Unendlich werden in diesem Falle die Amplituden, wenn der Nenner in diesen Gleichungen verschwindet.

Für eine konvex halbparabolische Bucht (Figur 8), bei welcher in A die Mündung ins offene Meer liegt, lauten die Gleichungen:

$$\xi h\,(1 + w^2) = -\,a Z\, \frac{\mathfrak{S}(c, w)}{\mathfrak{S}'(c, 1)} \cos(\sigma t + \rho) \text{ und } \eta = Z\, \frac{\mathfrak{S}'(c, w)}{\mathfrak{S}'(c, 1)} \cos(\sigma t + \rho).$$

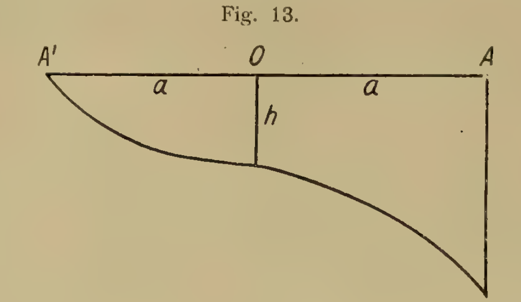
Die freien Schwingungen treten bei Werten von $\gamma = \dfrac{n^2 a^2}{gh}$ ein, für die $\mathfrak{S}(\gamma, 1) = 0$ ist, das ist für $\gamma = 12\cdot34$, $50\cdot46$ usw. Nun ist $c = \dfrac{\sigma^2 a^2}{gh}$, so daß $c = \gamma\nu^2$ ist. Resonanz tritt also ein, wenn $\mathfrak{S}'(\gamma\nu^2, 1) = 0$ ist. Die erste Wurzel dieser Gleichung ist angenähert $25\cdot5$ [dies ist das erste Maximum von $\mathfrak{S}(c, 1)$]. Die Bedingung ist also erfüllt, wenn $12\cdot34\,\nu^2 = 25\cdot5$ oder wenn $\nu = 1\cdot44$. Erst bei diesem Werte des Verhältnisses der Eigenperiode des Beckens zur Periode der äußeren Gezeitenbewegung treten das erstemal unendlich große Amplituden auf; bei konkaven Becken erfolgte dies bereits bei

[1] Sie werden mit den ersten vier Gliedern der entsprechenden Reihenentwicklung ermittelt.

etwa $\nu = 0 \cdot 6$; erst für Werte $\nu > 1 \cdot 44$ haben die Gezeiten in halbparabolisch konvexen Becken eine Knotenlinie. Dies ist ein auffallender Unterschied gegenüber konkaven Becken, die bei ähnlichen Verhältniszahlen bereits eine Schwingung mit zwei Knotenlinien aufweisen.

7. Fall. Von Interesse ist noch eine Buchtform, die der Fig. 13 entspricht. Der Teil A' bis O bestehe aus einem konkaven Parabelstück, der Teil OA aus einem konvexen Parabelstück; bei A ist

Fig. 13.



die Mündung ins offene Meer. Nehmen wir der Einfachheit halber $A'O = OA = a$, so haben bei den bekannten Grenzbedingungen die Konstanten A und B der allgemeinen Lösung die Werte

$$A = -aZ \frac{S(c, 1)}{S(c, 1)\, \mathfrak{C}'(c, 1) - \mathfrak{S}'(c, 1)\, C(c, 1)} \quad \text{und} \quad B = aZ \frac{C(c, 1)}{S(c, 1)\, \mathfrak{C}'(c, 1) - \mathfrak{S}'(c, 1)\, C(c, 1)}.$$

Resonanz tritt ein, wenn $S(c, 1)\, \mathfrak{C}'(c, 1) - \mathfrak{S}'(c, 1)\, C(c, 1) = 0$ wird.

C. Die v. Sterneck'sche Methode zur Ermittlung der Schwingungsform bei Mitschwingen der Wassermasse mit der äußeren Gezeitenbewegung.

Aus den Grundgleichungen der Hydrodynamik leitete R. v. Sterneck zuerst die von uns bereits in den früheren Abschnitten benützten Gleichungen

$$2\,\Delta\eta = \frac{4\,\pi^2}{g\,T^2}\, 2\,\xi\,\Delta x \quad \text{und} \quad 2\,\xi = -\frac{1}{S(x)} \int_0^x 2\eta\, b(x)\, dx$$

ab und ermittelte mit denselben die Schwingungsform, welche die Wassermassen eines Beckens annehmen, wenn sie mit der äußeren Gezeitenbewegung mitschwingen müssen.

Ist aus Beobachtungen bekannt, welche Hubhöhe die Gezeiten des offenen Meeres an der Mündungsstelle des Kanals besitzen, so kann man hieraus die Amplitudenverteilung längs des ganzen Wasserbeckens ermitteln. Man nimmt zu diesem Zwecke am inneren Ende des Beckens eine willkürliche Hubhöhe, etwa $2\eta' = 100\, cm$ an. Mittels dieser rechnen wir, nach der Methode, die wir bereits früher bei der Ermittlung der Periode der freien Schwingung angegeben haben, von Querschnitt zu Querschnitt weiter, bestimmen für jeden derselben die theoretische Hubhöhe und die horizontalen Verschiebungen des Wassers. Man kommt so schließlich zu einem bestimmten Betrage $2\eta'$ für die Mündungsstelle. Dieses $2\eta'$ kann positiv oder negativ sein; ist $2\eta'$ positiv, so bedeutet dies, daß die Phase der Schwingung dieselbe ist wie jene am inneren Ende; ist sie negativ, so schwingt an der Mündungsstelle das Wasser des Beckens mit umgekehrter Phase wie der innere Teil der Bucht. Wurde an der Mündung eine Hubhöhe 2η direkt beobachtet, so erhält man die tatsächlichen Hubhöhen längs des ganzen Kanals, wenn man die für die einzelnen Querschnitte berechneten Hubhöhen mit dem Verhältnis $\frac{2\eta}{2\eta'}$ multipliziert. Die Grundgleichunge bleiben erfüllt, weil sich ein Proportionalitätsfaktor, mit dem ja auch die Größen 2ξ multipliziert werden, aus ihnen heraushebt.

Auch wenn an irgend einer Stelle des Kanals aus den Beobachtungen die Hubhöhe bekannt ist, kann man nach dieser Methode die Verteilung der Hubhöhen längs des ganzen Kanals und an der Mündungsstelle bestimmen. Dies wird namentlich dann mit Vorteil benützt, wenn die orographischen

Verhältnisse des Beckens eine Knotenlinie in der Nähe der Mündung bedingen, also in den Fällen, in denen im Becken Resonanzerscheinungen zu erwarten sind.

v. Sterneck hat darauf hingewiesen, daß die Verteilung der Hubhöhen auch dann festgelegt werden kann, wenn die durch die Mündung in der halben Periode der Schwingung hindurchströmende Wassermenge q bekannt ist. Aus der Annahme, daß am inneren Ende des Kanals die Hubhöhe $2\,\eta' =$ $= +\,100\,cm$ ist, berechnen wir ja aus $q_x = \int_0^x 2\,\eta'\,b\,(x)\,d\,x$ die durch den Querschnitt x hindurchgeschobene Wassermenge. Durch die Mündung wird bei dieser Annahme die Menge $q'_e = \int_0 2\,\eta'\,b\,(x)\,d\,x$ hindurchgehoben. Tatsächlich beträgt sie aber q; multiplizieren wir wieder die unter der willkürlichen Annahme berechneten Hubhöhen und horizontalen Verschiebungen mit dem Verhältnisse $\frac{q}{q'_e}$, so erhalten wir die tatsächlichen Verhältnisse beim Mitschwingen der Bucht mit dem äußeren Meere.

Diese Methode, die wir die v. Sterneck'sche Methode nennen wollen und welche völlig unabhängig von den Gestaltverhältnissen der zum Teil abgeschlossenen Wassermassen ist, liefert wieder die gänzliche Schwingungsform im Randmeere, gibt also Antwort auf mehrere Fragen zugleich, was bei den anderen Methoden nicht der Fall ist; sie ist außerordentlich bequem, wenn man in speziellen Fällen die Schwingungsform von Randmeeren beim Mitschwingen mit der äußeren Gezeitenbewegung praktisch ermitteln will. In der Exaktheit steht die Methode den anderen in keiner Weise nach.

5. Die selbständigen Gezeiten in Randmeeren.

Wir haben in früheren Abschnitten die in völlig abgeschlossenen Wassermassen unter der Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte zur Entwicklung gelangenden Gezeiten behandelt und gesehen daß die Hafenzeit und die Hubhöhe der Gezeitenwelle je nach der Amplitude und Phase der störenden Kraft verschieden ausfällt; die Randbedingungen verlangen hiebei, daß an den beiden Enden des langgestreckten Meeres die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen verschwinden.

Auch in Meeren, die nicht völlig vom äußeren Ozean abgeschlossen sind, also durch eine mehr oder minder breite Meeresstraße mit dem freien Meere in Verbindung stehen, werden selbständige Gezeiten zur Ausbildung gelangen; hiebei müssen wir die eine der früher erwähnten Grenzbedingungen fallen lassen; denn am inneren Ende des Randmeeres wird allerdings wieder die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen auf Null herabgehen müssen, da keine Geschwindigkeit der Wasserbewegung senkrecht zur Begrenzungswand vorhanden sein kann; am offenen Ende des Randmeeres aber ist diese Beschränkung nicht vorhanden; die zur Ausbildung bestimmter erzwungener Wellen notwendigen Wassermassen können durch die Verbindungsstraße aus dem freien Ozean bezogen werden; die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen brauchen und werden also am offenen Ende des Randmeeres nicht Null sein. Es würde eine willkürliche Annahme bedeuten, wenn wir auch für diese Stelle des Randmeeres $\xi = 0$ wählen würden. Das Problem der Gezeiten in einem mit dem freien Ozean in Verbindung stehenden Randmeer lautet demnach folgendermaßen:

Gegeben ist ein Wasserkanal bestimmter Breiten- und Tiefenverhältnisse; an einer Schmalseite steht derselbe mit dem freien Ozean in Verbindung; in der Nähe der Mündung sei im freien Ozean eine Gezeitenbewegung $\eta = b \cos(\sigma\,t + \beta)$ vorhanden. Was für Schwingungen vollführen die Wassermassen des Kanals unter der Einwirkung einer in der Richtung der Längsachse des Kanals wirkenden periodischen Anziehungskraft der Form $X = \varkappa \cos(\sigma\,t + \varepsilon)$?

Die Periode der Anziehungskraft nehmen wir plausiblerweise identisch mit der Periode der äußeren Gezeitenbewegung an, da wir ja annehmen können, daß auch letztere durch die halbtägig periodischen Anziehungskräfte von Mond und Sonne irgendwie hervorgerufen sein wird; hingegen

braucht im allgemeinen Fall die Phase der äußeren Gezeitenbewegung nicht übereinzustimmen mit der Phase der störenden Kraft.

Das Problem wollen wir im folgenden zunächst für einen Kanal konstanter Breite und Tiefe lösen.

A. Die selbständigen Gezeiten in einem einseitig offenen Kanal konstanter Breite und Tiefe.

1. Fall. Den Koordinatenursprung legen wir am geschlossenen Ende des Kanals, die x-Achse in der Längsrichtung desselben; alles verläuft symmetrisch zu dieser Linie. Die Länge des Kanals sei l, seine Tiefe h. Wir wollen zunächst annehmen, daß $\varepsilon = \beta$ ist, so daß die Grenzbedingungen in diesem Falle lauten: Für $x=0$ ist $\xi=0$ und für $x=l$ $\eta = b\cos(\sigma t+\varepsilon)$. Die störende Kraft ist $X = \varkappa\cos(\sigma t+\varepsilon)$. Die Differentialgleichungen sind von derselben Form wie die Gleichungen 15 und 16 im 3. Teil Abschnitt A. Die allgemeine Lösung lautet:

$$\xi = \left[A\sin\frac{\sigma x}{c} + B\cos\frac{\sigma x}{c} - \frac{\varkappa}{\sigma^2}\right]\cos(\sigma t+\varepsilon)$$

$$\text{und } \eta = \left[-\frac{h\sigma}{c}A\cos\frac{\sigma x}{c} + \frac{h\sigma}{c}B\sin\frac{\sigma x}{c}\right]\cos(\sigma t+\varepsilon).$$

Aus den Grenzbedingungen folgt nun

$$B = \frac{\varkappa}{\sigma^2} \text{ und } A = -\frac{c}{h\sigma\cos\frac{\sigma l}{c}}\left[a - \frac{h\varkappa}{c\sigma}\sin\frac{\sigma l}{c}\right].$$

Die freie einknotige Schwingung des geschlossen gedachten Kanals ist $T_f = \frac{2l}{c}$; die Periode der Kraft $T_\varkappa = \frac{2\pi}{\sigma}$; es ist demnach wieder $T_f : T_x = \nu$ und $\frac{\sigma l}{c} = \nu\pi$; setzt man $y = \frac{x}{l}$, so erhält man für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen die Gleichungen:

$$\xi = \frac{1}{\cos\nu\pi}\left[\left(\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\nu\pi(1-y) - \frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\nu\pi\right) - \frac{la}{h\nu\pi}\sin\nu\pi y\right]\cos(\sigma t+\varepsilon) \tag{36}$$

$$\eta = \frac{1}{\cos\nu\pi}\left[a\cos\nu\pi y - \frac{h\nu\pi\varkappa}{l\sigma^2}\sin\nu\pi(1-y)\right]\cos(\sigma t+\varepsilon). \tag{37}$$

Die Grenzbedingungen ergeben also eine ganz bestimmte Gezeitenwelle im Innern des Kanals. Wir sehen, daß die Lösung ihren Sinn verliert, wenn $\cos\nu\pi = 0$ wird, also wenn $\nu = \frac{\varkappa}{2}$, ($\varkappa = 1, 3, 5, 7$ usw.) Wenn die Periode der freien einknotigen Schwingung des Kanals, die Hälfte oder $^3/_2$ oder $^5/_2$ usw. der Periode der Kraft beträgt, werden die Amplituden der erzeugten Schwingung unendlich groß; in diesem Falle treten Resonanzerscheinungen auf. Es besteht also (siehe p. 16) ein wesentlicher Unterschied gegenüber den selbständigen Gezeiten in einem gleich großen, jedoch beiderseits geschlossenen Kanal, bei dem die Amplituden unendlich werden, wenn $\nu = 1, 3, 5, 7$ usw., das heißt, wenn die Perioden der freien einknotigen Schwingung gleich oder 3mal, 5mal usw. so groß ist wie die Periode der Kraft.

Betreffs der selbständigen Gezeiten ist also wohl zu beachten, ob der Kanal geschlossen ist oder ob er an einer Stelle offen ist, das heißt, ob eine Verbindung mit dem freien Ozean vorhanden ist. Ein Teil der entstehenden Gezeitenschwingungen ist völlig unabhängig von der fluterzeugenden Kraft und nur abhängig von der äußeren Gezeitenbewegung; sehen wir uns diesen Teil sowohl in der Gleichung für ξ wie in jener für η näher an, so bemerken wir, daß beide identisch sind mit den Gleichungen 35 im Abschnitt 4, die das Mitschwingen des Kanals mit der äußeren Gezeitenbewegung ohne Einwirkung einer äußeren Kraft geben. Der erste Teil stellt also nichts anderes dar als der Effekt des Mitschwingens der Wassermassen des Kanals mit der äußeren Gezeitenbewegung; er ver-

schwindet, wenn keine äußere Gezeitenbewegung vorhanden ist; dieses Mitschwingen ist vom Vorhandensein einer eventuellen störenden Kraft völlig unabhängig.

Der übrigbleibende Teil der entstehenden Gezeitenschwingung ist hingegen nur von der störenden Kraft abhängig; er stellt also die selbständige Gezeitenkomponente in dem einseitig offenen Kanal dar, die, wie ein Vergleich mit den Gleichungen 17 und 18 im Abschnitt 3 A zeigt, wesentlich anders ist wie jene, die in einem allseits geschlossenen Kanal zur Ausbildung gelangt. Die selbständige Gezeitenkomponente hat einige Eigenschaften, auf die wir besonders hinweisen wollen. Die Hubhöhe derselben ist zunächst, wie früher erwähnt, abhängig von der Verhältniszahl ν; nimmt ν die Werte $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$ usw. an, so wird auch die Hubhöhe der selbständigen Gezeitenkomponente unendlich groß. Sie ist außerdem bei konstantem ν, da $\frac{h\varkappa\nu\pi}{l\sigma^2}=\frac{\varkappa}{\sigma}\sqrt{\frac{h}{g}}$ ist, um so größer, je tiefer der Kanal ist. Immer verschwindet sie für $y=1$, das ist für das offene Ende des Kanals; an der Mündung findet sich also immer eine Knotenlinie; es können noch weitere Knotenlinien vorhanden sein, je nach der Größe von ν, und zwar sind im ganzen für $\nu<1$ eine Knotenlinie (jene an der Mündung allein), für $1\leqq\nu<2$ zwei Knotenlinien, für $2\leqq\nu<3$ drei Knotenlinien usw. vorhanden.

Die auffallendste Eigenschaft der selbständigen Gezeitenkomponente ist wohl die, daß stets am offenen Ende des Kanals eine Knotenlinie vorhanden ist; es fragt sich, ob die oben berechnete Gezeitenschwingung von derselben Form ist, wie wenn wir von vornherein die Grenzbedingung aufnehmen, daß am offenen Ende $\eta=0$ ist; wie eine kleine Rechnung zeigt, ist dies tatsächlich der Fall. Unter der Einwirkung einer periodischen Kraft, die in der Richtung der Längsachse des Kanals wirkt entwickelt sich in einem einseitig offenen Kanal stets eine stehende Welle, bei der an der Mündung des Kanals in das offene Meer eine Knotenlinie vorhanden ist. Die Grenzbedingungen in einem einseitig offenen Kanal sind deshalb für die selbständigen Gezeitenkomponente: für $x=0$ $\xi=0$ und für $x=l$ $\eta=0$. Von dieser Tatsache werden wir später noch Gebrauch machen. Wir wenden uns nun dem allgemeinen Falle zu.

2. Fall. Die störende Kralt sei wieder $X=\varkappa\cos(\sigma t+\varepsilon)$, doch sei diesmal die Phase der äußeren Gezeitenbewegung nicht identisch mit der Phase der Kraft, sondern willkürlich vorgegeben. Unter den Voraussetzungen wie im 1. Falle sind nun die Grenzbedingungen: für $x=0$ $\xi=0$ und für $x=l$ $\eta=b\cos(\sigma t+\beta)$. Die allgemeine Lösung der entsprechenden Differentialgleichung finden wir in der Form

$$\xi=\left[A\sin\frac{\sigma x}{c}+B\cos\frac{\sigma x}{c}-\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\varepsilon\right]\cos\sigma t+$$
$$+\left[C\sin\frac{\sigma x}{c}+D\cos\frac{\sigma x}{c}+\frac{\varkappa}{\sigma^2}\sin\varepsilon\right]\sin\sigma t \text{ und } \eta=-h\frac{\partial\xi}{\partial x}.$$

Die Grenzbedingungen ergeben für die Konstanten A, B, C und D folgende Werte:

$$B=\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\varepsilon,\; D=-\frac{\varkappa}{\sigma^2}\sin\varepsilon,\quad A=-\frac{c}{h\sigma\cos\frac{\sigma l}{c}}\left[b\cos\beta-\frac{h\varkappa}{c\sigma}\cos\varepsilon\sin\frac{\sigma l}{c}\right] \text{ und}$$
$$C=\frac{c}{h\sigma\cos\frac{\sigma l}{c}}\left[b\sin\beta-\frac{h\varkappa}{c\sigma}\sin\varepsilon\sin\frac{\sigma l}{c}\right].$$

Für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen findet man schließlich folgende Werte:

$$38)\qquad \xi=\frac{1}{\cos\nu\pi}\left[\left(\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\nu\pi(1-y)-\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\nu\pi\right)\cos(\sigma t+\varepsilon)-\frac{lb}{h\nu\pi}\sin\nu\pi y\cos(\sigma t+\beta)\right]$$

$$39)\qquad \eta=\frac{1}{\cos\nu\pi}\left[b\cos\nu\pi y\cos(\sigma t+\beta)-\frac{h\varkappa\nu\pi}{l\sigma^2}\sin\nu\pi(1-y)\cos(\sigma t+\varepsilon)\right].$$

Auch in diesem Falle teilt sich die zur Entwicklung gelangende stehende Welle in zwei Teile, nur besitzen diesmal beide Teile auch verschiedene Phasen; der erste Teil ist völlig unabhängig von der störenden Kraft und hat genau dieselbe Form, das ist dieselbe Amplitude und Phase, wie jene stehende Welle, die zur Ausbildung gelangt, wenn ohne Einwirkung einer störenden Kraft die Wassermasse des Kanals mit der äußeren Gezeitenbewegung mitschwingt. Der zweite Teil ist hingegen wieder unabhängig von der Gezeitenbewegung des äußeren Meeres und nur abhängig von der störenden Kraft; dieser Teil ist die selbständige Gezeitenkomponente des einseitig offenen Kanals; sie ist genau von derselben Form wie im Falle 1. Die äußere Gezeitenbewegung stört also in keiner Weise die Ausbildung der selbständigen Gezeitenschwingung; sie ist genau gleich, wie wenn das freie Meer gezeitenfrei wäre. An der Mündung findet sich immer eine Knotenlinie.

Die allgemeinen Gezeiten in einem einseitig offenen Kanal setzen sich also aus zwei Teilen zusammen: erstens aus der Mitschwingungsgezeit, die genau so zur Ausbildung gelangt, wie wenn keine störende Kraft vorhanden wäre, und zweitens aus der selbständigen Gezeitenkomponente, die zur Ausbildung gelangt, wie wenn der freie Ozean gezeitenlos wäre. Die Gezeiten im Kanal sind die Superposition beider Wellen.

Wir können uns die Gezeiten in einem einseitig geschlossenen Kanal auch anders entstanden denken. Die störende Kraft kann in zwei Komponenten zerlegt werden: $\varkappa \cos \varepsilon \cos \sigma t$ und $- \varkappa \sin \varepsilon \sin \sigma t$. Jede dieser Kraftkomponenten erzeugt eine erzwungene Gezeitenschwingung, und zwar muß laut der Grenzbedingung am offenen Ende die erste Komponente eine Hubhöhe $b \cos \beta \cos \sigma t$ hervorrufen, die zweite hingegen eine solche $- b \sin \beta \sin \sigma t$. Die allgemeine Gezeit ist dann die Superposition dieser zwei erzwungenen Schwingungen. Die Rechnung lehrt, daß das Ergebnis identisch mit den Gleichungen 38 und 39 ist. Bei jeder erzwungenen Partialschwingung wird aus dem freien Ozean eine bestimmte Wassermenge bezogen, derart, daß wieder die erwähnten Gleichungen befriedigt sein müssen. Wir gelangen also auch bei dieser Auffassung der Aufgabe zum gleichen Ergebnis.

B. Die selbständigen Gezeiten in Wasserbecken wechselnder Breite und Tiefe, die durch eine Meeresstraße mit dem freien Ozean in Verbindung stehen.

Infolge der wechselnden Breiten- und Tiefenverhältnisse der unregelmäßig gestalteten Randmeere lassen sich natürlich im allgemeinen die im vorhergehenden Abschnitte entwickelten Formeln nicht benützen; sie dienen nur zur Orientierung über die in Randmeeren zu erwartenden Gezeitenverhältnisse. Wollen wir die selbständigen Gezeiten in solchen unregelmäßig gestalteten Randmeeren berechnen, stehen uns zwei Wege offen. Entweder wir beschreiten wieder den Weg der Chrystal'schen Methode, ermitteln die Normalkurve des Kanals und suchen diese durch entsprechend gewählte Kurven und Geraden einer mathematisch fixierbaren Form anzupassen. Die Lösung der allgemeinen Differentialgleichungen für eine Anzahl einfacher Normalkurven ist früher bereits gegeben worden (Abschnitt 3, *B*). Da es sich im jetzigen Falle bloß um die Ermittlung einiger freier Konstanten durch Erfüllung von Grenzbedingungen handelt, wollen wir uns hier nicht weiter damit befassen. Prinzipielle Schwierigkeiten bei der Berechnung der selbständigen Gezeiten beigegebener Normalkurven des Wasserbeckens gibt es nicht. In jedem einzelnen Falle kann die Berechnung ohne weiteres durchgeführt werden.

Einfacher und praktischer, da sie auch bei den unregelmäßigsten orographischen Verhältnissen der Becken anwendbar ist, ist die Restmethode. Wir benützen hier die oben erwähnte Tatsache, daß die in einem einseitig offenen Kanal unter der Einwirkung einer periodischen Kraft zur Ausbildung gelangenden Gezeiten aus zwei voneinander unabhängigen Teilen bestehen und berechnen jeden Teil getrennt. Die Methode, wie man den ersten Teil, das Mitschwingen der Wassermassen des Kanals mit der äußeren Gezeitenbewegung, berechnet, haben wir im Abschnitt 4 *C* dargelegt. Wir brauchen uns hier damit nicht weiter aufzuhalten.

Der zweite Teil, die selbständigen Gezeiten, können nach derselben Methode berechnet werden wie die selbständigen Gezeiten in einem allseits geschlossenen Wasserbecken, nur sind die Grenz-

bedingungen verschieden. Wir gehen wieder von der Gleichung 34, p. 28 aus und beginnen, wie dort angegeben, die Rechnung am geschlossenen Ende mit einem zunächst willkürlich gewählten 2η und mit der einen Grenzbedingung $\xi = 0$. Wir rechnen nun schrittweise, Querschnitt für Querschnitt die hindurchgeschobenen Wassermassen, die horizontale Elongation, die Hubhöhenänderung und die Hubhöhe selbst. So erhalten wir schließlich am letzten Querschnitt, der gleichzeitig die Mündung des Randmeeres bildet, einen bestimmten Wert für die dortige Hubhöhe 2η. Die zweite Grenzbedingung für einseitig offene Wasserbecken ist aber, daß an der Mündung des Kanals $2\eta = 0$ wird. Wir müssen also mit der Wahl des zunächst willkürlich zu wählenden Wertes von 2η am inneren Ende des Randmeeres, so lange wechseln, bis die Rechnung am anderen Ende wirklich die Hubhöhe 0 liefert. Ist diese Bedingung erfüllt, dann geben uns die 2ξ und 2η für jeden Querschnitt die wirklichen Elongationen der horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen der selbständigen Gezeit.

Die Rechnung kann, wie im Falle der selbständigen Gezeiten in geschlossenen Wasserbecken, wo am anderen Ende statt 2η die horizontale Verschiebung 2ξ gleich Null sein muß, abgekürzt werden, wenn man als ersten Wert für 2η am inneren Ende jenen wählt, der sich aus Formel 39 für einen Kanal ergibt, der die gleiche Länge und die gleiche, aber konstante mittlere Tiefe besitzt wie das unregelmäßige Randmeer. Auch auf das Vorzeichen ist besonders zu achten, da es gar nicht gleichgültig ist, ob man mit $+$ oder $-$ 2η die Rechnung beginnt.

Das Vorzeichen fixiert ja gleichzeitig die Phase der Schwingung am betrachteten Ort. Dieser erste provisorische Wert bildet sicherlich die erste Annäherung zu dem tatsächlichen Wert 2η am inneren Ende. Auf diese Weise gelingt es nach der Restmethode, allerdings vielleicht nach einigen Versuchsrechnungen, die ganze Schwingungsform der selbständigen Gezeiten, also die Hubhöhenverteilung, die horizontalen Verschiebungen, die Lage der Knotenlinien und die Phasen der Schwingung für jeden Querschnitt der Randmeere zu ermitteln.

Zu dieser selbständigen Gezeitenkomponente kommt noch die Mitschwingungskomponente der Gezeiten hinzu. Ihre Summe gibt die Gezeiten des Randmeeres, insoweit sie auf stehende Wellen zurückzuführen sind.

6. Der Einfluß der Erdrotation auf die Schwingungen in einer abgeschlossenen Wassermasse.

Wir haben in den früheren Abschnitten die Schwingungsverhältnisse in gänzlichen oder zum Teil abgeschlossenen Wassermassen unter der stillschweigenden Annahme untersucht, daß die Schwingungen nur in einer Richtung, längs der Längsachse des Wasserbeckens erfolgen, daß also alle Verhältnisse in bezug auf die Längsachse als symmetrisch angenommen werden können. Im allgemeinen dürfte dies erlaubt sein, so lange keine Kräfte vorhanden sind, die gleichzeitig in der Breitenrichtung des Wasserbeckens wirken und die Schwingungen in der Längsrichtung, die wir als die Hauptrichtung des Wasserbeckens auffassen, stören. Sind nun auch Kräfte vorhanden, die von der Wasserbewegung in der Längsrichtung unabhängig sind und Schwingungen in der Breitenrichtung hervorrufen, so werden sich diese Schwingungen in der Breite jenen in der Längsrichtung superponieren, ohne daß sie sich gegenseitig stören. Die Wassermasse vollführt gleichzeitig Schwingungen in der Längsrichtung und in der Breitenrichtung; die tatsächlichen Verschiebungen der Oberfläche werden die Superposition der beiden stehenden Wellen sein. Insoweit bieten sich keine Schwierigkeiten.

Wenn jedoch die Kräfte, die in der Breitenrichtung wirken, von der Wasserbewegung in der Längsrichtung abhängen, wie es bei Störungskräften, die von der Erdrotation abhängen, der Fall ist, dann treten bedeutende mathematische Schwierigkeiten auf, die das Problem zum Teil unlösbar machen. In unserem Falle handelt es sich vor allem um den Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die Schwingungen einer abgeschlossenen Wassermasse. Dieser Einfluß könnte vernachlässigt werden

und die früheren Ableitungen würden eine sehr gute Annäherung an die Wirklichkeit bedeuten, wenn die Perioden der freien Schwingungen und der Anziehungskräfte im Verhältnis zur Periode der Erdrotation, das ist zu einem Tage klein wären. Diese Bedingungen sind aber bei den tatsächlichen Verhältnissen auf der Erde nicht erfüllt.

Das hydrodynamische Problem, die Schwingungen in einem rotierenden Kanal von endlicher Länge zu ermitteln, ist sowohl im Falle, daß es sich um freie Schwingungen, wie im Falle, daß es sich um erzwungene Schwingungen handelt, bisher nicht gelöst worden.[1] Lord Rayleigh[2] hat eine Lösung nur im Ausnahmsfalle gegeben, daß die Rotationsgeschwindigkeit verhältnismäßig klein ist, ein Fall, der bei den Verhältnissen auf der Erde leider nicht in Betracht kommt. Wollen wir den Einfluß der Erdrotation berücksichtigen, müssen wir uns mit Annäherungen begnügen, die jedoch, wie es scheint, den Tatsachen in sehr befriedigender Weise gerecht werden.

Der erste, der den Einfluß der Erdrotation auf die Schwingungen von abgeschlossenen Wassermassen zahlenmäßig zu ermitteln versuchte, war R. v. Sterneck.[3] Sein Gedankengang ist folgender: Bewegt sich ein materielles Teilchen horizontal auf der Erdoberfläche in der Breite φ mit einer Geschwindigkeit v, so stellt sich unter dem Einfluß der Erdrotation eine auf das Teilchen senkrecht zur Bewegungsrichtung nach rechts wirkende ablenkende Kraft ein, die demselben die Beschleunigung $2\,\omega\, v \sin\varphi$ erteilt ($\omega = 0\cdot0000729212\ m\,sec^{-1}$). Bei den Schwingungen in abgeschlossenen Wassermassen verschieben sich die Wasserteilchen eines Querschnittes periodisch in horizontaler Richtung hin und her. Die Amplitude dieser horizontalen Verschiebungen haben wir früher berechnet und mit ξ bezeichnet. Bei diesen Verschiebungen wirkt nun auf die Wasserteilchen die ablenkende Kraft der Erdrotation, welche die Wasserteilchen aus ihrer Bahn zu drängen versucht. Hiebei wirkt die ablenkende Kraft der Erdrotation abwechselnd nach der einen und nach der anderen Richtung, da sich ja die Verschiebungsrichtung der Wasserteilchen mit der Periode der Schwingungen ändert. Bei der Bewegung eines Wasserteilchens wirken demnach zwei Kräfte: die Erdschwere und die ablenkende Kraft der Erdrotation. Die Resultierende aus diesen Kräften ist um einen kleinen Winkel gegen die Vertikale geneigt. Die Tangente des Winkels ist durch die Formel $\operatorname{tag}\alpha = \frac{2\,\omega \sin\varphi}{g}\,v$ gegeben. Auf die Richtung dieser resultierenden Kraft steht die jeweilige Niveaufläche senkrecht; diese ist also ebenfalls um den Winkel α gegen die Horizontalfläche geneigt. Nach diesen Überlegungen ist es leicht einzusehen, daß durch die ablenkende Kraft der Erdrotation ein periodisches Hin- und Herschwanken der Niveaufläche erfolgt, die zu erzwungenen Schwingungen in der Breitenrichtung des Wasserbeckens führt; letztere besitzen dieselbe Periode wie die sie erzeugenden Schwingungen in der Längsrichtung, weisen aber gegenüber diesen eine Phasenverschiebung auf, da der Neigungswinkel α dann am größten ist, wenn die horizontale Verschiebungsgeschwindigkeit der Wasserteilchen in der Längsrichtung am größten ist. Dies tritt aber dann ein, wenn bei der Längsschwingung die gestörte Wasseroberfläche durch ihre Ruhelage hindurchschwingt. Aus dem Winkel α lassen sich bei bekannter Breite des Beckens auch die durch die erzwungene Breitenschwingung auftretenden vertikalen Erhebungen auf beiden Längsseiten des Beckens leicht berechnen.

Die Längsschwingung und die durch sie bedingte Querschwingung superponieren sich, wodurch die mannigfachsten Formen der Amphidromien zur Ausbildung gelangen können.

Die v. Sterneck'sche Methode, den Einfluß der Erdrotation zahlenmäßig in Rechnung zu ziehen, hat bei der Erklärung der Amphidromien im Adriatischen Meere, in den Meeresstraßen von Tunis und Messina sehr befriedigende, mit den Beobachtungstatsachen gut übereinstimmende Ergebnisse gezeitigt,

[1] Siehe Lamb, Hydrodynamik, p. 376.

[2] Phil. Mag., 5, p. 297, 1903.

[3] R. v. Sterneck, l. c. Siehe auch Defant, Zur Theorie der Gezeiten des Adriatischen Meeres. Annalen der Hydrographie und marit. Meteorologie, Mai 1914.

derart, daß an ihrer Brauchbarkeit, wenn sie auch in aller Strenge den hydrodynamischen Differentialgleichungen nicht entsprechen dürfte, nicht zu zweifeln ist. Vielleicht etwas genauere Ergebnisse erhält man, wenn man das Problem nicht statisch auffaßt, sondern vom dynamischen Standpunkte betrachtet. Wir wollen deshalb im folgenden die Einwirkung der Erdrotation auf die selbständigen Gezeiten in einem west-östlich sich erstreckenden Kanal konstanter Breite und Tiefe etwas näher untersuchen.

A. Der Einfluß der Erdrotation auf die selbständigen Gezeiten in einem Kanal konstanten rechteckigen Querschnittes.

Unter der Wirkung einer Störungskraft $X = f \cos \varphi \cos 2\left(nt + \frac{\pi}{4} + \varepsilon\right)$ entstehen im Kanal west-östlicher Erstreckung von der konstanten Tiefe h und der Länge l selbständige Gezeiten, in denen die horizontalen und vertikalen Verschiebungen in Wasserteilchen ξ und η durch die Gleichungen 17 und 18 gegeben sind. Durch die ablenkende Kraft der Erdrotation entstehen nun Querschwingungen. Die horizontalen und vertikalen Verschiebungen dieser Schwingungen bezeichnen wir mit u und v; die Breitenkoordinate sei γ, die Breite selbst b und $z = \frac{\gamma}{b}$. Dann lauten die Differentialgleichungen für die durch die ablenkende Kraft bedingte Querschwingung

$$\text{40)} \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial \gamma^2} - 2\omega \sin \varphi \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad \text{und} \quad v = -h \frac{\partial u}{\partial \gamma}.$$

Nun ist

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{2fl \cos \varphi}{c\nu\pi} \; \frac{\sin \nu \frac{\pi}{2} y \sin \nu \frac{\pi}{2}(1-y)}{\cos \nu \frac{\pi}{2}} \cos 2\left(nt + \frac{\pi}{2} + \varepsilon\right).$$

Die Periode der freien Querschwingungen des Beckens ist $T_f = \frac{2b}{\sqrt{gh}} = \frac{2b}{c}$. Bezeichnen wir das Verhältnis der Periode der freien Querschwingung T_f zur Periode der Kraft $T_x = \frac{2\pi}{2n}$ mit ρ, so daß $\frac{nb}{c} = \rho \frac{\pi}{2}$ ist, so ergibt die Lösung der Differentialgleichung für die vertikale Erhebung infolge der Querschwingung die Gleichung:

$$\text{41)} \qquad v = -\frac{2bf \cos \varphi}{\pi g} \cdot \frac{\omega \sin \varphi}{n} \; \frac{\sin \nu \frac{\pi}{2} y \sin \nu \frac{\pi}{2}(1-y)}{\cos \nu \frac{\pi}{2}} \cdot \frac{\sin \rho \frac{\pi}{2}(2z-1)}{\rho \cos \rho \frac{\pi}{2}} \cos 2\left(nt + \frac{\pi}{2} + \varepsilon\right).$$

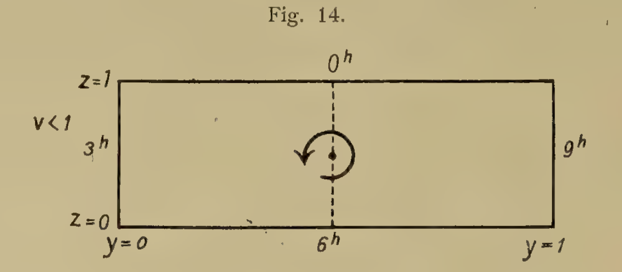
Die durch die ablenkende Kraft der Erdrotation erzeugten Querschwingungen hängen von einer ganzen Reihe von Größen ab. Wir sehen zunächst, daß sie nicht für alle Querschnitte senkrecht zur Längsrichtung gleich groß sind; denn in der Gleichung finden wir ein Glied mit y; die Querschwingung verschwindet stets für $y = 0$ und $y = 1$, also an beiden Enden des Kanals. Die Hubhöhen der Querschwingung werden weiters für dieselben Werte von ν unendlich, für welche die Amplituden der Längsschwingung unendlich werden; sie sind also umso größer, je größer die letzteren sind. Aber nicht nur von den Längsverhältnissen, auch von den Breitenverhältnissen des Kanals hängt die Querschwingung ab. Die Hubhöhen sind um so größer, je breiter das Becken ist; sie hängen auch in wesentlicher Weise von der Eigenperiode des Kanals in der Breite ab, beziehungsweise vom Verhältnis der Periode

der freien Breitenschwingung zur Periode der Anziehungskraft. Wird dieses Verhältnis gleich 1, 3, 5, 7 usw., dann werden die Amplituden der Querschwingung unendlich groß. Die Lösung verliert ihren Sinn.

Sie hängt außerdem in bemerkenswerter Weise vom Verhältnis der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde zur Periode der Anziehungskraft ab; je größer die Periode der Störungskraft, desto kleiner die Hubhöhen der Querschwingung. Halbtägige Gezeiten erzeugen demnach bedeutendere Querschwingungen als die eintägen Gezeiten; langperiodische Gezeiten haben nur unbedeutende Querschwingungen zur Folge.

Die Phase ist außerdem um $\frac{\pi}{2}$ verschoben. Zur Zeit der Syzygien fanden wir für $\nu < 1$ bei der Längsschwingung am Westende ($\eta = 0$) des Kanals die Hafenzeit 3^h, am Ostende die Hafenzeit 9^h siehe Fig. 14). Die durch die Erdrotation bedingte Querschwingung hat nach Gleichung 41 für $z = 0$

Fig. 14.



das Maximum, wenn $2\,(nt + \varepsilon) = 0$, also wenn der Stundenwinkel des Mondes Null ist, für $z = 1$ dagegen, wenn $2\,(nt + \varepsilon) = \frac{\pi}{2}$. Die Nordseite des Kanals hat also bei der Querschwingung die Hafenzeit 0^h, die Südseite dagegen 6^h. Diese Zeiten treten nur dort rein auf, wo die Knotenlinie der Längsschwingung vorhanden ist (also bei $\frac{l}{2}$); an den übrigen Stellen erfolgt eine Superposition der beiden stehenden Wellen; dadurch kann eine entgegengesetzt dem Uhrzeiger verlaufende Amphidromie entstehen; es ist jedoch nicht notwendig, daß es stets zur Ausbildung einer solchen kommt; sie hängt außer von der Hubhöhe der Querschwingung von einer ganzen Reihe anderer Umstände ab. Die Zahl der im Kanal zur Ausbildung gelangenden Amphidromien hängt von der Zahl der Knotenlinien der Längsschwingung ab, also von der Verhältniszahl ν. Für $\nu < 2$ haben wir eine, für $2 < \nu < 4$ drei Amphidromien usw. zu erwarten.

Setzt man in Gleichung 19 die für ein Becken konstante Größe $\frac{l f \cos\varphi}{\pi g} = A$, so ergibt sich das konstante Glied in der Gleichung 41 in der Form $2A\,\frac{b}{l}\,\frac{\omega}{n}\,\sin\varphi$. Die Hubhöhe der Querschwingung ist somit auch abhängig vom Verhältnis der Breite zur Länge des Beckens; je schmäler das Becken, desto unbedeutender die Querschwingung.

Für Kanäle nord-südlicher Erstreckung finden wir ganz analoge Ergebnisse; nur in den Konstanten tritt noch multiplikativ $\sin\varphi$ hinzu, so daß schließlich die Hubhöhen der Querschwingungen vom Quadrate des Sinus der geographischen Breite abhängen. Dadurch werden die Amplituden der Querschwingungen wesentlich herabgedrückt; dies erklärt wohl die Tatsache, daß in Becken nord-südlicher Erstreckung Amphidromien, die von selbständigen Gezeiten herrühren, selten zu finden sind.

B. Einfluß der Erdrotation auf das Mitschwingen von Randmeeren.

In ähnlicher Weise läßt sich auch in erster Annäherung der Einfluß der Erdrotation auf das Mitschwingen von Randmeeren mit der äußeren Gezeitenbewegung berechnen. Nehmen wir an, der Kanal in Fig. 14 stehe bei $y = 1$ mit dem offenen Meer in Vereindung, das einer Gezeitenbewegung $Z\cos(\sigma t + \varepsilon)$ unterliegt. Dann vollführt der Kanal Schwingungen, die durch die Gleichungen 35

gegeben sind. Die ablenkende Kraft der Erdrotation bedingt Querschwingungen, die den Gleichungen 40 genügen müssen. Hierin ist nun

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -Z \frac{l\sigma}{\nu\pi h} \frac{\sin \nu\pi y}{\cos \nu\pi} \cos\left(\sigma t + \varepsilon + \frac{\pi}{2}\right)$$

zu setzen. Die Lösung der Differentialgleichung ergibt für die vertikalen Verschiebungen der Querschwingung die Gleichung

$$42) \qquad v = 2 Z \nu \frac{b}{l} \frac{\omega}{\sigma} \sin \varphi \frac{\sin \nu\pi y}{\cos \nu\pi} \frac{\sin \rho \frac{\pi}{2} (2z-1)}{\rho \cos \rho \frac{\pi}{2}} \cos\left(\sigma t + \varepsilon + \frac{\pi}{2}\right).$$

Auch hier hängt die Hubhöhe der Querschwingung vom Verhältnis der Periode der freien Querschwingung zur Periode der äußeren Gezeitenbewegung ab. Sie ist außerdem um so größer, je größer die Gezeitenbewegung im offenen Meere ist. Wie im früheren Falle hängt sie auch ab vom Verhältnis der Breite zur Länge des Kanals und auch vom Verhältnis der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde zur Periode der äußeren Gezeitenbewegung. Die halbtägigen Gezeiten des Meere erzeugen in Randmeeren demnach eher Amphidromien als die eintägigen Gezeiten. Dies ist sehr beachtenswert. Die Querschwingung zeigt gegenüber der Gezeitenbewegung des offenen Meeres eine Phasenverschiebung um $\frac{\pi}{2}$. Die Superposition der Querschwingung mit der Längsschwingung ergibt auch hier Amphidromien, die (auf der Nordhemisphäre) entgegengesetzt dem Uhrzeiger verlaufen. Da hier die Längsschwingung je nach der Verhältniszahl ν eine, zwei, drei usw. Knotenlinien haben kann, können eine, zwei, drei usw. Amphidromien zur Entwicklung gelangen.

C. Zwei Beispiele für die Ausbildung von Amphidromien als Folge der Erdrotation.

Um die Ausbildung von Amphidromien, die durch die Einwirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die Längsschwingungen in einem Kanal hervorgerufen sind, noch eingehender zu zeigen, wurden im folgenden zwei Beispiele berechnet. Im ersten wurden die durch die ablenkende Kraft der Erdrotation bedingten Querschwingungen der selbständigen Gezeitenbewegung in einem länglichen, beiderseitig geschlossenen Kanal west-östlicher Erstreckung ermittelt. Im zweiten Beispiel wurde dagegen angenommen, daß derselbe Kanal an einer Seite mit einem offenen Meere in Verbindung stehe, und es wurden jene Querschwingungen, die sich aus der durch das Mitschwingen hervorgerufenen Längsschwingung ergeben, näher bestimmt.

Der Kanal befinde sich in der mittleren Breite $\varphi = 45°$; seine Länge betrage $l = 720\,km$, die Breite $b = 240\,km$, die Tiefe $h = 90\,m$. Die Periode der freien Längsschwingung errechnet sich zu $T_l = 13 \cdot 33$ Stunden, die Periode der freien Querschwingung zu $T_b = 4 \cdot 44$ Stunden. Dann ist $b : l = 1/3$ $\nu = 1 \cdot 111$ und $\rho = 0 \cdot 370$. Außerdem setzen wir die Konstante $\frac{l f \cos \varphi}{\pi \rho} = 20$. Mittels dieser Zahlenwerte berechnen wir nach den Formeln der früheren Abschnitte die Hubhöhen längs der Längsachse und die Hubhöhen der durch die Längsschwingung bedingten Querschwingungen nach der Gleichung 41. Das Ergebnis der Rechnung steht in Tabelle auf p. 44.

An jeder Stelle des Kanals superponieren sich die zwei Wellen zu einer einfachen Sinusschwingung. Die Resultierende ergibt sich durch Summation der beiden Komponenten $a \cos(\sigma t + \beta) = a_1 \cos(\sigma t + \beta_1) + a_2 \cos(\sigma t + \beta_2)$. Die Amplitude a sowie die Phase β der resultierenden Welle folgen aus den Formeln

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2 a_1 a_2 \cos(\beta_1 - \beta_2) \text{ und } \operatorname{tg} \beta = \frac{a_1 \sin \beta_1 + a_2 \sin \beta_2}{a_1 \cos \beta_1 + a_2 \cos \beta_2}.$$

Längs- und Querschwingungen im abgeschlossenen Kanal.

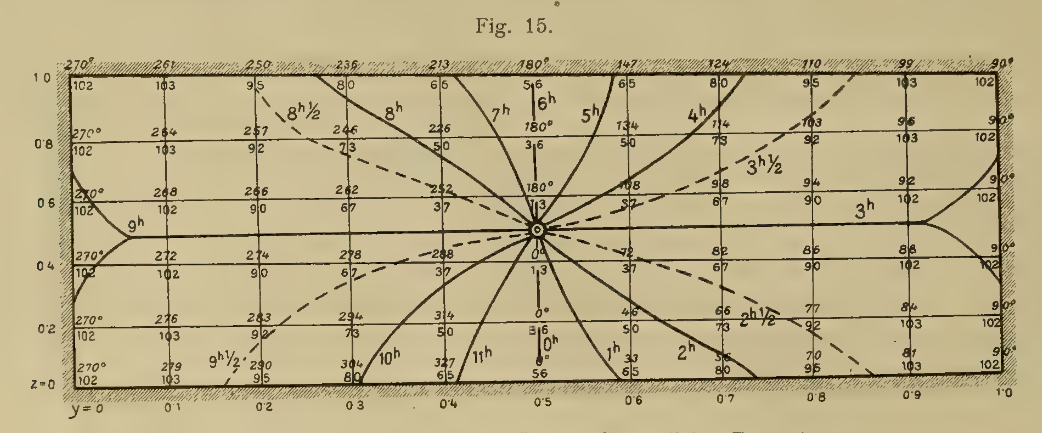
	$z =$	0	0·2	0·4	0·6	0·8	1·0
$y = 0$	$\eta =$ $v =$	102·— 0	102·— 0	102·— 0	102·— 0	102·— 0	102·— 0
$y = 0·1$	$\eta =$ $v =$	102·— — 16·7	102·— — 10·8	120·— — 3·5	102·— + 3·5	102·— + 10·8	102·— + 16·7
$y = 0·2$	$\eta =$ $v =$	89·6 — 32·5	89·6 — 20·9	89·6 — 6·8	89·6 + 6·8	89·6 + 20·9	89·6 + 32·5
$y = 0·3$	$\eta =$ $v =$	66·6 — 45·1	66·6 — 29·2	66·6 — 9·4	66·6 + 9·4	66·6 + 29·2	66·6 + 45·1
$y = 0·4$	$\eta =$ $v =$	35·6 — 53·9	35·6 — 34·7	35·6 — 11·3	35·6 + 11·3	35·6 + 34·7	35·6 + 53·9
$y = 0·5$	$\eta =$ $v =$	0 — 56·5	0 — 36·5	0 — 12·8	0 + 12·8	0 + 36·5	0 + 56·5
$y = 0·6$	$\eta =$ $v =$	— 35·6 — 53·9	— 35·6 — 34·7	— 35·6 — 11·3	— 35·6 + 11·3	— 35·6 + 34·7	— 35·6 + 53·9
$y = 0·7$	$\eta =$ $v =$	— 66·6 — 45·1	— 66·6 — 29·2	— 66·6 — 9·4	— 66·6 + 9·4	— 66·6 + 29·2	— 66·6 + 45·1
$y = 0·8$	$\eta =$ $v =$	— 89·6 — 32·5	— 89·6 — 20·9	— 89·6 — 6·8	— 89·6 + 6·8	— 89·6 + 20·9	— 89·6 + 32·5
$y = 0·9$	$\eta =$ $v =$	— 102·— — 16·7	— 102·— — 10·8	— 102·— — 3·5	— 102·— + 3·5	— 102·— + 10·8	— 102·— + 56·7
$y = 1·0$	$\eta =$ $v =$	— 102·— 0	— 102·— 0	— 102·— 0	— 102·— 0	— 102·— 0	— 102·— 0

Die Formeln vereinfachen sich wesentlich, wenn, wie in unserem Falle, $\beta_2 - \beta_1 = \frac{\pi}{2}$ ist. Dann wird

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 \text{ und } \operatorname{tag} \beta = \frac{a_2}{a_1}.$$

Mittels dieser Beziehungen können wir für jede Stelle des Kanals die sogenannte $\varkappa$-Zahl der Schwingung ermitteln und da für einen Kanal west-östlicher Erstreckung bei $\nu > 1$ das Westende die Hafenzeit 9^h, das Ostende die Hafenzeit 3^h hat, auch für die anderen Stellen die Hafenzeit der kombinierten Längs- und Querschwingung berechnen. Das Ergebnis der Rechnung steht in folgender Fig. 15, in welcher auch die Linien gleicher Hafenzeit (Isorachien) ausgezogen sind. Wir ersehen aus ihr, daß

Fig. 15.



Selbständige Gezeiten in einem Kanal west-östlicher Erstreckung.
(Die geradstehenden Zahlen sind die Amplituden, die liegenden Phasen der Schwingung).

die Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation sich in der Ausbildung einer deutlichen Amphidromie äußert, die entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers verläuft.

In ähnlicher Weise berechnen wir die Schwingungen in einem Kanal gleicher Dimensionen, welcher bei $y = 1$ mit dem offenen Meere in Verbindung steht; in diesem sei eine halbtägige Gezeitenbewegung mit einer Amplitude $Z = 100\,cm$ und einer Hafenzeit 3^h vorhanden. Dann ergeben sich für die Längs- und Querschwingungen die in folgender Tabelle stehenden Werte.

Längs- und Querschwingungen in einem Kanal, der mit dem offenen Meere in Verbindung steht.

	$z =$	0	0·2	0·4	0·6	0·8	1·0
$y = 0$	$\eta =$	— 106·3	— 106·3	— 106·3	— 106·3	— 106·3	— 106·3
	$v =$	0	0	0	0	0	0
$y = 0·1$	$\eta =$	— 100·0	— 100·0	— 100·0	— 100·0	— 100·0	— 100·0
	$v =$	+ 16·8	+ 10·4	+ 3·4	— 3·4	— 10·4	— 16·8
$y = 0·2$	$\eta =$	— 81·6	— 81·6	— 81·6	— 81·6	— 81·6	— 81·6
	$v =$	+ 31·6	+ 19·6	+ 6·4	— 6·4	— 19·6	— 31·6
$y = 0·3$	$\eta =$	— 53·2	— 53·2	— 53·2	— 53·2	— 53·2	— 53·2
	$v =$	+ 42·6	+ 26·5	+ 8·7	— 8·7	— 26·5	— 42·6
$y = 0·4$	$\eta =$	— 18·5	— 18·5	+ 18·5	— 18·5	— 18·5	— 18·5
	$v =$	+ 48·4	+ 30·1	+ 9·7	— 9·7	— 30·1	— 48·4
$y = 0·5$	$\eta =$	+ 18·5	+ 18·5	+ 18·5	+ 18·5	+ 18·5	+ 18·5
	$v =$	+ 48·4	+ 30·1	+ 9·7	— 9·7	— 30·1	— 48·4
$y = 0·6$	$\eta =$	+ 53·2	+ 53·2	+ 53·2	+ 53·2	+ 53·2	— 53·2
	$v =$	+ 42·6	+ 26·5	+ 8·7	— 8·7	— 26·5	— 42·6
$y = 0·7$	$\eta =$	+ 81·6	+ 81·6	+ 81·6	+ 81·6	+ 81·6	+ 81·6
	$v =$	+ 31·6	+ 19·6	+ 6·4	— 6·4	— 19·6	— 31·6
$y = 0·8$	$\eta =$	+ 100·0	+ 100·0	+ 100·0	+ 100·0	+ 100·0	+ 100·0
	$v =$	+ 16·8	+ 10·4	+ 3·4	— 3·4	— 10·4	— 16·8
$y = 0·9$	$\eta =$	+ 106·3	+ 106·3	+ 106·3	+ 106·3	+ 106·3	+ 106·3
	$v =$	0	0	0	0	0	0
$y = 1·0$	$\eta =$	+ 100·0	+ 100·0	+ 100·0	+ 100·0	+ 100·0	+ 100·0
	$v =$	— 16·8	— 10·4	— 3·4	+ 3·4	+ 10·4	+ 16·8

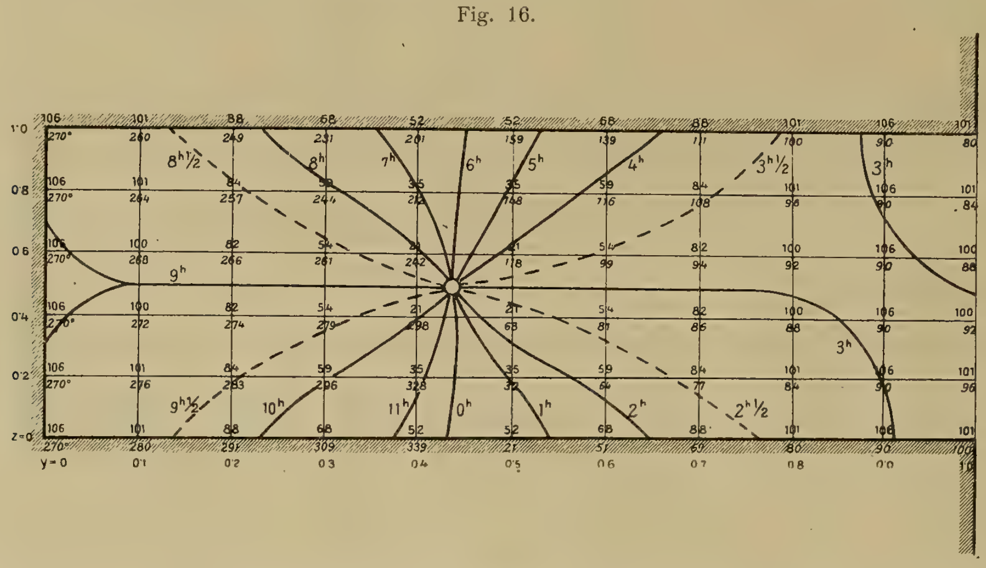
Die Zusammensetzung beider Schwingungen ergibt wieder eine entgegengesetzt dem Uhrzeiger verlaufende Amphidromie; im Kanalteile nahe der Mündung entsteht ein Gebiet mit nahezu überall gleicher Phasenzeit; das ist eine Erscheinung, die wir in Randmeeren häufig wiederfinden. Die Erklärung liegt darin, daß bei bestimmten Werten von ν bei der Längsschwingung ein Maximum der Hubhöhe nahe der Mündung im Innern des Kanals zu finden ist; auf beiden Seiten eines solchen Maximums ist jedoch die Richtung der horizontalen Verlagerung der Wasserteilchen verschieden, unter dem Maximum der Hubhöhe ist sie ja stets Null. Die Phase der durch die ablenkende Kraft der Erdrotation bedingten Querschwingung ändert sich demnach, wenn wir von der einen Seite des Maximums auf die andere Seite übergehen. Unter dem Maximum selbst ist keine Querschwingung vorhanden. Das Gebiet in der Nähe der maximalen Hubhöhe der Längsschwingung wird dadurch zu einem Gebiete nahezu überall gleicher Hafenzeit.

Aus diesen zwei Beispielen ersieht man, wie einschneidend der Einfluß der Erdrotation auf die Gezeiten der Rand- und Nebenmeere ist und wie er das sonst ziemlich einfache Phänomen, das in einer Schaukelbewegung um bestimmte Knotenlinien bestehen würde, wesentlich kompliziert.

D. Der Einfluß der Erdrotation auf die Schwingungsverhältnisse von Wasserbecken variablen Querschnittes.

Sind die orographischen Verhältnisse der Wasserbecken komplizierterer Natur, so lassen sich die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der durch die Erdrotation bedingten Querschwingungen nicht in geschlossener Form wiedergeben. Es steht jedoch, da für jeden Längsquerschnitt des Beckens die Größe der horizontalen Verlagerung ξ der Längsschwingung bekannt ist, nichts im Wege, mittels dieser Größe für jeden einzelnen Seeabschnitt die Form der Querschwingung nach der Gleichung 40 zahlenmäßig zu berechnen. Hiebei spielt natürlich die Form des Querschnittes, der auf beiden Seiten von zwei senkrechten, parallelen Wänden begrenzt ist, eine wichtige Rolle. Je nach der Form dieses Querschnittes, das ist also je nach der bathymetrischen Kurve des Wasserbeckens an dieser Stelle, fällt die Schwingungsform der Querwelle anders aus.

Fig. 16.



Mitschwingen eines mit einem Meere in Verbindung stehenden Kanals mit der äußeren Gezeitenbewegung.
(Aufrechtstehende Zahlen geben die Amplituden, die liegenden die Phasen der Schwingung.)

Statt der tatsächlichen bathymetrischen Kurve des Wasserbeckens an der betrachteten Stelle kann man zur Vereinfachung der Rechnung in erster Annäherung ein Rechteck mit der mittleren Tiefe des Sees an dieser Stelle nehmen und für alle solchen Seeabschnitte, die aneinander anschließend den ganzen See bilden, der Reihe nach die Größe und Art der Querschwingungen längs des ganzen Beckens berechnen.

Eine zweite bessere Annäherung ist es wohl, wenn wir als bathymetrische Kurve des Querschnittes eine symmetrisch parabolische Kurvenform nehmen; in den allermeisten Fällen dürfte diese Annäherung den tatsächlichen Verhältnissen ziemlich nahekommen. Die entsprechenden Differentialgleichungen des Problems sind dann die Gleichungen 22, worin die Gleichung der bathymetrischen Kurve (Normalkurve) $\sigma(x) = h\left(1-\frac{4x^2}{b^2}\right)$ lautet und als Störungskraft $X = -2\omega \sin\varphi \frac{\partial \xi}{\partial t}$ zu setzen ist. Da $\xi = \xi_0(x)\cos(\sigma t + \varepsilon)$ ist, wird $X = -2\omega\, \xi_0(x) \sin\varphi \cos\left(\sigma t + \varepsilon + \frac{\pi}{2}\right)$. Die Lösung der Differentialgleichungen liefert die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Querwelle, die wir hier mit u und v bezeichnen wollen, in der Form

$$u\,(1-w^2) = -\frac{2\omega\, \xi_0(x) \sin\varphi}{\sigma^2\, C(2\nu^2, 1)}\,[C(2\nu^2, w) - C(2\nu^2, 1)] \cos\left(\sigma t + \varepsilon + \frac{\pi}{2}\right)$$

und

$$v = \frac{4\omega\, \xi_0 \sin\varphi}{b\,\sigma^2}\,\frac{C(2\nu^2, w)}{C(2\nu^2, 1)} \cos\left(\sigma t + \varepsilon + \frac{\pi}{2}\right).$$

Hierin bedeutet b die Breite des Beckens an der betrachteten Stelle, $w = \frac{2x}{b}$ und ν das Verhältnis der Periode der freien Schwingung $T_f = \frac{\pi b}{\sqrt{2gh}}$ zur Periode der Kraft $\frac{2\pi}{\sigma}$.

Die Amplitude der Querschwingung hängt, wie wir sehen, in wesentlicher Weise von der Verhältniszahl ν ab; für $\nu = 1$ wird $C(2\nu^2, 1) = 0$ und es treten Resonanzschwingungen auf. Das konstante Glied in der Hubhöhe $\frac{4\omega^2 \xi \sin\varphi}{b\sigma^2}$ ist um so größer, je größer die horizontalen Verschiebungen der Längsschwingung an der betrachteten Stelle sind, jedoch auffallenderweise noch um so größer, je kleiner die Breite des Beckens ist. Der Einfluß dieser zwei Faktoren hebt sich jedoch zum großen Teil wieder auf; denn dort, wo das Becken besonders eng ist, wird ξ besonders groß sein. Die Abhängigkeit vom Verhältnis der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde zur Periode der störenden Kraft finden wir wieder in derselben Form.

Auf die hier angedeutete Weise läßt sich die Querschwingung für jeden Seeabschnitt mit ziemlicher Genauigkeit berechnen; es fragt sich bloß, ob eine solche große Genauigkeit in den meisten Fällen die größere Rechenarbeit, welche die Ermittlung der Querschwingungen nach dieser Methode erfordert, auch lohnt. Da ν in den allermeisten Fällen eine kleine Zahl bleiben wird, wird der Unterschied gegenüber den Ergebnissen der statischen Methode gering sein; denn je kleiner die Eigenperiode des Systems gegenüber der Periode der störenden Kraft ist, desto mehr nähern sich die Ergebnisse der dynamischen Theorie den Resultaten der Gleichgewichtstheorie. Durch die vorhergehenden Erörterungen sind wir genügend informiert über den Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die Gezeiten in kleineren abgeschlossenen Meeren und in Randmeeren.

7. Die Gezeiten in beiderseits offenen Kanälen.

Wir hatten bisher immer Wasserbecken betrachtet, die entweder völlig für sich abgeschlossen waren oder die wenigstens auf einer Seite mit dem freien Ozean in Verbindung standen. Die Untersuchung der ersteren ergab uns die Gezeitenerscheinungen in großen Seen, die der zweiten die Gezeiten in Rand- und Nebenmeeren und in Meeresbuchten. Es erübrigt noch, die Gezeiten zu untersuchen, die in Wasserkanälen auftreten, die beiderseits mit dem freien Ozean in Verbindung stehen. Sowohl das Mitschwingen der Wassermassen des beiderseits offenen Kanals mit der Gezeitenbewegung der freien Meere, die er verbindet, als auch die durch die fluterzeugende Kraft hervorgerufene Gezeitenkomponente werden die allgemeinen Gezeiten im Kanal wesentlich beeinflussen. Die zu lösende Aufgabe besteht auch hier in erster Linie in der Befriedigung gewisser Grenzbedingungen an den Mündungen des Kanals, durch welche die in der allgemeinen Lösung der Schwingungsgleichung enthaltenen allgemeinen Konstanten festgelegt werden. Wir wollen im folgenden zunächst einige einfachere Fälle bei einem Kanal, der überall gleichen Querschnitt besitzt, untersuchen.

A. Die Gezeiten in einem beiderseits offenen Kanal gleichförmiger Breite und Tiefe.

1. Fall. Der die zwei Meere verbindende Kanal habe die Länge l und die Tiefe h. Den Koordinatenursprung legen wir an einer Mündung des Kanals, die x-Achse in seiner Längsachse; es seien zunächst keine störenden Kräfte vorhanden. Das Meer beim Koordinatenursprung habe die Gezeitenbewegung $\eta = a \cos(\sigma t + \varepsilon)$ und außerdem sei die horizontale Verschiebung bei der Mündung $x = 0$ $\xi = m \cos(\sigma t + \varepsilon)$. Das zweite Meer am anderen Ende des Kanals ($x = l$) sei gezeitenlos. Die Konstanten A und B der allgemeinen Lösung der Schwingungsgleichung nehmen durch diese Grenzbedingungen die Werte $B = m$ und $A = -\frac{ac}{\sigma h}$ an.

Dadurch werden, wenn ν und y, die aus dem früheren bekannten Bezeichnungen sind,

$$43)\quad \xi = \left[-\frac{al}{h\nu\pi}\sin\nu\pi y + m\cos\nu\pi y\right]\cos(\sigma t + \varepsilon) \text{ und}$$

$$\eta = \left[a\cos\nu\pi y + hm\frac{\nu\pi}{l}\sin\nu\pi y\right]\cos(\sigma t + \varepsilon).$$

Bei beliebiger Wahl der Dimensionen des Kanals bleiben die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen endlich. Der Wert der Verhältniszahl ν hat trotzdem einen wesentlichen Einfluß auf die Hubhöhe im Kanal; zum Beispiel ist für $\nu = 1/2$, das ist, wenn die Periode der freien einknotigen Schwingung des geschlossen gedachten Kanals die Hälfte der Periode der äußeren Gezeitenbewegung beträgt, am anderen Ende des Kanals $(x = l, y = 1)$ die Hubhöhe $\eta = \frac{\pi}{2l}hm$, also unabhängig von der Gezeitenerhebung im ersteren Meer; ist hingegen $\nu = 1$, dann ist die Hubhöhe am anderen Ende $\eta = -a$, unabhängig von der Wassermenge, die an der ersten Mündung in der halben Periode eintritt.

Innerhalb des Kanals treten an den Stellen y_1, welche die Gleichung $\operatorname{tag} y_1 = -\frac{al}{\nu\pi m h}$ erfüllen, Knotenlinien auf. Extreme Hubhöhen treten hingegen an jenen Stellen y_2 auf, an denen $\operatorname{tag} y_2 = \frac{\nu\pi m h}{a}$ ist. Es ist demnach $\operatorname{tag}\nu\pi y_2 = -\operatorname{cotag}\nu\pi y_1 = \operatorname{tag}\left(\nu\pi y_1 + \frac{\pi}{2}\right)$ oder es muß $y_2 = y_1 + \frac{1}{2\nu}$ sein; finden wir also an einer Stelle y_1 eine Knotenlinie, so hat die Stelle $y + (1:2\nu)$ eine maximale Hubhöhe, einen Schwingungsbauch.

Von Interesse ist noch zu erfahren, bei welchen Werten von ν bei gegebenen a und m an der ersten Mündung $(y = 0)$ die Hubhöhe an der anderen Mündung $(y = 1)$ ein Maximum erreicht. Dies tritt bei den Werten ν ein, bei denen für $y = 1$ $\frac{d\eta}{d\nu} = 0$ wird. Dies liefert die Gleichung

$$44)\quad \operatorname{tag}\nu\pi + \frac{\nu\pi}{p} = 0, \text{ worin } p \text{ die Konstante } -\frac{hm}{al - hm} \text{ bedeutet.}$$

Je nach der Größe p hat diese Gleichung stets bestimmte Werte für ν; sie tritt in derselben Form im Wärmeleitungsproblem auf; wir verweisen auf die diesbezüglichen Ausführungen und halten uns hier nicht weiter auf.[1]

2. Fall. Wir wollen nun den allgemeinsten Fall behandeln. Ein Kanal verbindet zwei Meere, in denen eine Gezeitenbewegung verschiedener Phase vorhanden ist, und zwar sei unweit der ersten Mündung $(x = 0)$ $\eta = a\cos(\sigma t + \varepsilon_1)$, unweit der zweiten $(x = l, y = 1)$ $\eta = b\cos(\sigma t + \varepsilon_2)$.

Was für eine Gezeitenbewegung vollführt der Kanal?

---

[1] Betreffs der Diskussion der Gleichung siehe Weber, Partielle Differentialgleichungen, II, p. 130 u. ff. Die dortigen Ergebnisse können hier direkt übertragen werden. Für $p = 0$ wird Gleichung 44 erfüllt, wenn νp die ungeraden Vielfachen von $\frac{\pi}{2}$ sind; für $p > 0$ liegen von den Wurzeln je eine im 2ten, 4ten, 6ten usw. Quadranten, und zwar nähern sie sich mit wachsender Größe rasch den ungeraden Vielfachen von $\frac{\pi}{2}$. Ist p ein negativer, echter Bruch, dann liegen die Wurzeln im 1ten, 3ten, 5ten usw. Quadranten und nähern sich ebenfalls dem ungeraden Vielfachen von $\frac{\pi}{2}$; für $p < -1$ liegt keine Wurzel im 1ten Quadranten, sonst verhält es sich wie im letzten Falle.

Wir wählen folgende allgemeine Lösung der Differentialgleichungen:

$$\xi = \left[A \sin\frac{\sigma x}{c} + B \cos\frac{\sigma x}{c}\right]\cos\sigma t - \left[C \sin\frac{\sigma x}{c} + D \cos\frac{\sigma x}{c}\right]\sin\sigma t$$

und

$$\eta = -\frac{h\sigma}{c}\left[A \cos\frac{\sigma x}{c} - B \sin\frac{\sigma x}{c}\right]\cos\sigma t + \frac{h\sigma}{c}\left[C \cos\frac{\sigma x}{c} - D \sin\frac{\sigma x}{c}\right]\sin\sigma t.$$

Die Grenzbedingungen, die für alle Zeiten gelten müssen, ergeben für die Konstanten A und B

$$A = -\frac{ac\cos\varepsilon_1}{h\sigma} \quad \text{und} \quad B = \frac{c}{h\sigma\sin\frac{\sigma l}{c}}\left[b\cos\varepsilon_2 - a\cos\varepsilon_1\cos\frac{\sigma l}{c}\right];$$

aus A wird C, aus B D, wenn man in diesen Gleichungen $\cos\varepsilon_1$, beziehungweise $\cos\varepsilon_2$ mit $\sin\varepsilon_1$, beziehungsweise $\sin\varepsilon_2$ vertauscht. Aus diesen Werten erhält man für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen im Kanal

$$\xi = \frac{l}{h\nu\pi\sin\nu\pi}\left[b\cos\nu\pi y\cos(\sigma t+\varepsilon_2) - a\cos\nu\pi(1-y)\cos(\sigma t+\varepsilon_1)\right] \tag{45}$$

$$\eta = \frac{1}{\sin\nu\pi}\left[a\sin\nu\pi(1-y)\cos(\sigma t+\varepsilon_1) + b\sin\nu\pi y\cos(\sigma t+\varepsilon_2)\right]. \tag{46}$$

Die entstehenden Gezeiten sind die Superposition zweier stehender Wellen im Kanal, welche dieselbe Phase wie die Phase der äußeren Gezeitenbewegung besitzen. Diese Überlagerung kann je nach den Amplituden der äußeren Gezeitenbewegung a und b, die verschiedensten Formen der Gezeiten im Verbindungskanal hervorrufen. Die Verteilung der Hubhöhen hängt auch hier in wesentlicher Weise von der Verhältniszahl ν ab. Die Dimensionen des Kanals spielen also eine überaus wichtige Rolle. Die Hubhöhen werden unendlich, wenn $\sin\nu\pi = 0$ wird, das heißt, wenn $\nu = 0, 1, 2, 3, 4 \ldots$ ist. Ist die Periode der freien einknotigen Schwingung des geschlossen gedachten Kanals gleich, beziehungsweise 2-, 3-, 4mal so groß wie die Periode der Kraft, so treten Resonanzerscheinungen auf; die Hubhöhen werden außergewöhnlich groß.

Den Gleichungen 45 und 46 kann eine andere Gestalt gegeben werden, die deutlicher hervortreten läßt, daß die Amplitude und Phase der an jeder Stelle des Kanals auftretenden Gezeit verschieden groß ist und sich je nach den gegebenen Amplituden der äußeren Gezeitenbewegung ändert. Setzt man in 45

$$\begin{aligned} -a\cos\nu\pi(1-y) + b\cos(\varepsilon_2-\varepsilon_1)\cos\nu\pi y &= B\cos\psi \\ b\sin(\varepsilon_2-\varepsilon_1)\cos\nu\pi y &= B\sin\psi \end{aligned} \tag{47}$$

und in 46)

$$\begin{aligned} a\sin\nu\pi(1-y) + b\cos(\varepsilon_2-\varepsilon_1)\sin\nu\pi y &= A\cos\varphi \\ b\sin(\varepsilon_2-\varepsilon_1)\sin\nu\pi y &= A\sin\varphi, \end{aligned} \tag{48}$$

dann nehmen sie die einfache Form an:

$$\xi = \frac{l}{h\nu\pi\sin\nu\pi}B\cos(\sigma t+\varepsilon_1+\psi) \quad \text{und} \quad \eta = \frac{A}{\sin\nu\pi}\cos(\sigma t+\varepsilon_1+\varphi). \tag{49}$$

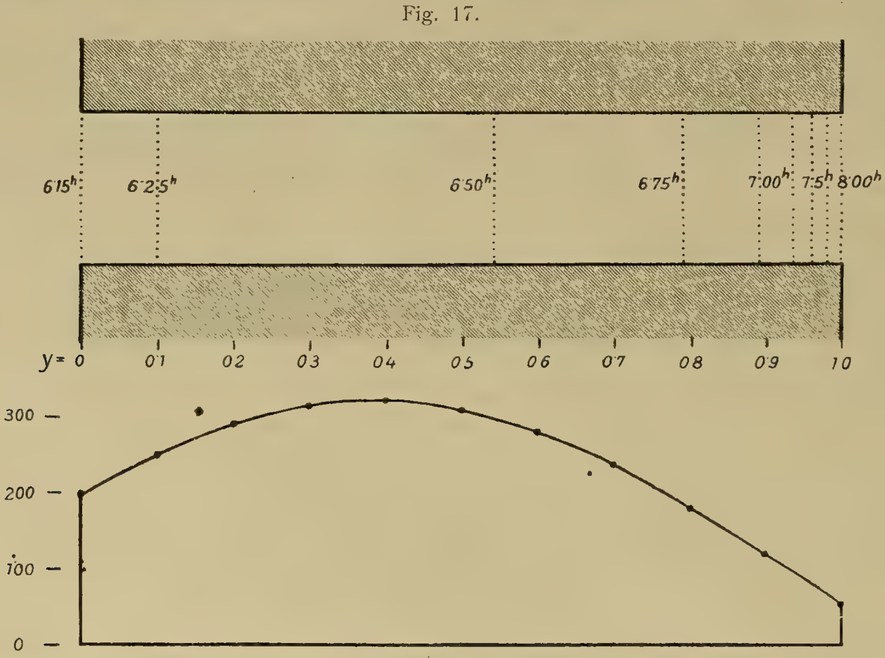
A, B, φ und ψ sind Funktionen von y; für eine bestimmte Stelle im Kanal werden sie zu Konstanten, deren Zahlenwert von den Amplituden und Phasen der äußeren Gezeitenbewegung abhängen. $\frac{A}{\sin\nu\pi}$ ist die Hubhöhe der Gezeit im Kanal; sie ändert sich von a an der ersten Mündung stetig bis b an der zweiten, wobei sie öfters den Wert Null annehmen kann; ebenso ändert sich die Phase stetig von ε_1 bis ε_2 am anderen Ende. Im Kanal können wir demnach verschiedene Flutstunden-

linien zeichnen; das Bild der Gezeiten im Kanal ist ähnlich jenem, das man erhält, wenn man annimmt, daß eine fortschreitende Welle, die stetig Amplitude und Phase ändert, im Kanal eindringt; die gleichbleibende Tiefe des Kanals gibt aber keine Erklärung für diese Änderungen in Amplitude und Phase. Das sind Erscheinungen, für welche wir auf der Erde oft Beispiele finden. Die Annahme, daß es sich in solchen Fällen in der Hauptsache bloß um das Mitschwingen der Wassermassen des Kanals mit den Gezeiten der äußeren Meere handelt, wurde bisher, trotzdem sie sehr nahe liegt, nicht gemacht; durch sie dürften viele Schwierigkeiten eine einfache Erklärung finden. Wir wollen im folgenden ein einfaches Beispiel rechnen, daß diese Erörterungen illustriert. Der Kanal habe die Länge $l = 500\,km$, die Tiefe $h = 106\cdot 3\,m$; die Periode der freien einknotigen Schwingung ist dann $T_f = 8\cdot 61$ Stunden und da $T_x = 12\cdot 3$ Stunden ist, wird $\nu = 0\cdot 7$. Das eine freie Meer habe ein Gezeit $\eta = 200 \cos \frac{\varepsilon\pi}{12\cdot 3}(t - 6\cdot 15^h)$, das andere eine Gezeit $\eta = 50 \cos \frac{2\pi}{12\cdot 3}(t - 8^h)$. Die Amplituden sind demnach 200, beziehungsweise 50 *cm*, die Hafenzeiten 6·15, beziehungsweise 8^h. Die Rechnung der Gezeit im Kanal ergab für die einzelnen Stellen folgende Amplituden und Phasen:

$y =$	0	0·1	0·2	0·3	0·4	0·5	0·6	0·7	0·8	0·9	0·0
Amplitude *cm*	200	252	290	314	316	304	276	232	176	112	50
Hafenzeit	6·15	6·25	6·32	6·38	6·43	6·48	6·56	6·62	6·78	7·03	8·0

Flutstundenlinien und Amplituden sind in Fig. 17 graphisch dargestellt. Die Verteilung der Hubhöhen zeigt, daß diese zunächst von der ersten Mündung gegen das Innere des Kanals zunimmt,

Fig. 17.



Flutstundenlinien und Hubhöhen in einem Kanal, der zwei Meere mit verschiedenen Gezeiten verbindet.

einen maximalen Wert etwas vor der Mitte des Kanals erreicht und dann stetig zum gegebenen Wert an der zweiten Mündung abfällt; es entwickelt sich demnach keine Knotenlinie im Kanal. Äußerst auffallend ist die Verteilung der Flutstundenlinien. Die Flutwelle dringt zunächst an der ersten Mündung rasch ein; in 21 Minuten hat sie mehr als die Hälfte des Kanals zurückgelegt, dann vermindert sie ihre Geschwindigkeit immer mehr; knapp vor der zweiten Mündung wird diese sehr klein; bei der ersten Mündung legt die Welle 50 *km* in etwa 5 Minuten zurück; in der Nähe der zweiten braucht sie zur gleichen Strecke etwa eine Stunde. Da die Tiefe des Kanals überall dieselbe ist, kann diese

die Ungleichförmigkeit in der Geschwindigkeit der »fortschreitenden Welle« nicht erklären; die Erklärung dafür liegt in der Superposition der zwei stehenden Wellen, die durch die äußere Gezeitenbewegung im Kanal erzwungen werden.

Die Lösung der Differentialgleichungen in der Form 45 und 46 zeigt, daß die beiden erzeugten Wellen voneinander unabhängig sind; nimmt man zunächst die Grenzbedingungen für $y = 0$ $\eta = a \cos(\sigma t + \varepsilon_1)$ und für $y = 1$ $\eta = 0$ und berechnet die entstehende Schwingung im Kanal, so erhält man den ersten Teil der Gleichung 46; wählt man die Grenzbedingungen für $y = 0$ $\eta = 0$ und für $y = 1$ $\eta = b \cos(\sigma t + \varepsilon_2)$, dann bekommt man den zweiten Teil. Die Summe der beiden erzwungenen Schwingungen ist also identisch mit der allgemeinen Lösung; wir können also jeden Teil für sich berechnen; die Summe der beiden Teilschwingungen gibt sodann die durch beide Grenzbedingungen entstehende Welle. Diese Tatsache bietet die Möglichkeit, die Gezeiten in einem beiderseits offenen Kanal wechselnder Breite und Tiefe auch nach der Restmethode zu berechnen.

B. Die Gezeiten in beiderseits offenen Kanälen wechselnder Breite und Tiefe.

Bei Verbindungskanälen, die wechselnde Breiten- und Tiefenverhältnisse aufweisen, wird sich das Mitschwingen der Wassermassen des Kanals mit der äußeren Gezeitenbewegung wieder sowohl nach der Chrystal'schen Methode, als auch nach der Restmethode berechnen lassen. Die erstere Methode erfordert die Ermittlung der Normalkurve des Kanals und ihre möglichst gute Schematisierung durch Kurven- und Geradenstücke. Für einfache Kurvenzüge ist im 2. Abschnitt *A* die allgemeine Lösung der Differentialgleichungen gegeben worden. Da es sich hier wieder bloß um die Bestimmung einer Anzahl von Konstanten auf Grund mehrerer Grenzbedingungen handelt, wollen wir nicht näher auf einzelne spezielle Fälle eingehen.

Ebensowenig Schwierigkeiten bildet die Restmethode; hiebei wollen wir uns der oben erwähnten Tatsache bedienen, daß die im Kanal entstehende Gezeit die Summe von zwei Teilschwingungen ist, die man erhält, wenn man die Wassermassen des Kanals einmal mit den Gezeiten des einen Meeres mitschwingen läßt, während das andere Meer gezeitenfrei ist, das zweitemal mit den Gezeiten des letzteren Meeres, während das erstere gezeitenfrei ist. Es ist also für jede Teilschwingung an einem Ende des Kanals $2\eta = 0$. Jede dieser Teilschwingungen berechnet man nun nach der Restmethode für sich; ihre Superposition gibt dann die Gezeiten des unregelmäßig gestalteten Kanals.

Die hiebei zu benützenden Gleichungen sind die Gleichungen 14. Wir gehen von einem Ende des Kanals aus und nehmen $2\eta = 0$ und für die in der halben Periode durch den nullten Querschnitt hindurchgeschobene Wassermenge q einen bestimmten, willkürlichen Wert, etwa $+10\,km^3$, an. Nach der zweiten der Gleichungen 14 berechnen wir daraus das entsprechende 2ξ und sodann aus der ersten die Änderung der Hubhöhe bis zum ersten Querschnitt. So wird schrittweise, wie schon oft dargelegt, Querschnitt für Querschnitt weitergerechnet bis zum letzten Querschnitt, der die Mündung des Kanals in das andere Meer bildet. Wir erhalten hier ein bestimmtes 2ξ und ein bestimmtes 2η Nach der Grenzbedingung an diesem Ende muß aber hier die Hubhöhe den Wert $2\eta_0$ besitzen Multiplizieren wir die für jeden Querschnitt errechneten Werte mit dem Faktor $\frac{2\eta_0}{2\eta}$, dann wird Übereinstimmung mit der Grenzbedingung erzielt. Die Gleichungen sind auch für diese neue Verteilung der Werte von 2ξ und 2η erfüllt, da sich ein Proportionalitätsfaktor aus den Gleichungen 14 heraushebt. Auf diese Art kann jede Teilschwingung für sich berechnet werden und erhält dann durch beide die Gezeitenwelle im Kanal. Die Anwendbarkeit der Methode auch bei den kompliziertesten Gestaltverhältnissen des Kanals läßt dieselbe als sehr wertvoll erscheinen.

C. Die selbständigen Gezeiten in beiderseits offenen Kanälen.

1. Fall. Wir haben im vorhergehenden Abschnitt die Schwingungsverhältnisse in Verbindungskanälen betrachtet, die ohne Einwirkung einer periodischen Kraft, bloß auf Impulsen der äußeren Gezeitenbewegung hin zur Ausbildung gelangen. Ist daneben auch eine Störungskraft in der Form

$\varkappa \cos(\sigma t + \varepsilon)$ vorhanden, dann gelten nicht mehr die dort benützten Differentialgleichungen; an ihre Stelle tritt das Gleichungssystem

$$50)\qquad \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \varkappa \cos(\sigma t + \varepsilon) \quad \text{und} \quad \eta = -h \frac{\partial y}{\partial x}$$

Die Grenzbedingungen seien wieder wie früher $\eta = a \cos(\sigma t + \varepsilon_1)$ und $\eta = b \cos(\sigma t + \varepsilon_2)$ an den beiden Enden des Kanals ($x = 0$, beziehungsweise $x = l$). Bezeichnet man die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen, die entstehen, wenn keine störende Kraft vorhanden ist, und die wir in *A* 2. Fall berechnet haben, mit ξ_0 und η_0, so nimmt die Lösung der Differentialgleichung 50 unter Berücksichtigung der erwähnten Grenzbedingungen folgende Gestalt an:

$$51)\qquad \xi = \xi_0 - \frac{\varkappa}{\sigma^2} \cos(\sigma t + \varepsilon) \quad \text{und} \quad \eta = \eta_0.$$

Das Ergebnis besagt, daß in einem Verbindungskanal durch die periodische Störungskraft allein keine Gezeiten zur Ausbildung gelangen; die Wassermassen vollführen nur ein periodisches Hin- und Herströmen in horizontaler Richtung; zu einer Erhebung über die Niveaulage kommt es nicht. In Verbindungskanälen wird demnach durch die periodischen Anziehungskräfte von Sonne und Mond bloß ein Flutstrom, jedoch keine Gezeiten hervorgerufen.

Diese Tatsache ist für die folgenden Untersuchungen von Wichtigkeit.

Dieses Ergebnis behält, wie man sich leicht überzeugen kann, seine Richtigkeit auch für Kanäle wechselnder Breiten- und Tiefenverhältnisse bei.

2. Fall. In den folgenden Untersuchungen benötigen wir noch folgenden interessanten Fall: Ein Verbindungskanal stehe an einem Ende mit dem freien Meere in Verbindung. Dieses Meer sei gezeitenfrei.[1] Am anderen Ende münde es ebenfalls in ein zweites Meer, doch sei hier durch bestimmte Umstände, auf die wir hier nicht eingehen wollen, ein bestimmtes Verhältnis $\xi : \eta = m$ vorgegeben. Die Grenzbedingungen lauten also: für $x = 0$ sei $\xi : \eta = m$ und für $x = l$ $\eta = 0$; es ist die erzwungene Gezeit zu suchen, die unter Einwirkung der periodischen Kraft $\varkappa \cos(\sigma t + \varepsilon)$ im Kanal zur Entwicklung gelangt. Setzt man die gegebene Konstante

$$m = -\frac{c}{h\sigma} \tan \frac{\sigma}{c} \lambda,$$

wo λ durch m festgelegt ist und $y = \lambda + x$, dann lautet die Lösung der Differentialgleichung 50 unter Berücksichtigung der erwähnten Grenzbedingungen:

$$52)\qquad \eta = -\frac{\frac{h\varkappa}{c\sigma} \cos \frac{\sigma}{c} \lambda}{\cos \frac{\sigma}{c}(l + \lambda)} \sin \frac{\sigma}{c}(l + \lambda - y) \cos(\sigma t + \varepsilon).$$

Denkt man sich den gegebenen Kanal, der von $y = \lambda$ bis $y = \lambda + l$ reicht, am Ende $y = \lambda$ fort gesetzt bis $y = 0$ und hier geschlossen und berechnet die selbständigen Gezeiten dieses Kanals, die unter der Einwirkung einer periodischen Kraft $\varkappa \cos \frac{\sigma\lambda}{c} \cos(\sigma t + \varepsilon)$ zur Ausbildung gelangen (siehe zweiter Teil der Gleichung 37 auf p. 36), so wird man finden, daß sie mit den Gezeiten der Gleichung 52 übereinstimmen.

---

[1] Diese Annahme ist nicht notwendig und kann durch die allgemeinere, daß das Meer eine bestimmte Gezeitenbewegung ausführt, ersetzt werden.

Die selbständigen Gezeiten des Verbindungskanals kann man bei den gegebenen Grenzbedingungen deshalb als einen Teil der selbständigen Gezeiten eines längeren, geschlossenen Kanals deuten, die unter Einwirkung einer etwas kleineren Kraft zur Entwicklung gelangen. Dieses Resultat werden wir später benützen.

8. Bemerkungen über die zur Verfügung stehenden Beobachtungen.

Nur von wenigen Küstenorten in Randmeeren sind uns die Ergebnisse der harmonischen Analyse der Gezeiten bekannt; in den allermeisten Fällen müssen wir uns begnügen mit den Daten, die gewöhnlich für das praktische Leben völlig ausreichen, das ist mit der gewöhnlichen Hafenzeit und mit Spring- und Nipptidenhub. Wie bekannt, ist die Hafenzeit das Zeitintervall, um das das Hochwasser dem Meridiandurchgange des Mondes folgt. Da zur Zeit der Syzygien Sonne und Mond gleichzeitig durch den Meridian gehen, gibt die Hafenzeit auch an, um wieviel Uhr bei Springtide der höchste Wasserstand eintritt. In den Gezeitentafeln findet man für zahlreiche Orte die Hafenzeit und den Springtidenhub angegeben; doch sind die Werte manchmal mit einiger Vorsicht zu gebrauchen, da sie häufig nur Annäherungswerte darstellen und nicht mit der genügenden Genauigkeit ermittelt worden sind.

Von den Partialtiden der harmonischen Analyse der Gezeiten kommen von den halbtägigen vor allem die Hauptmondtide M_2, die Hauptsonnentide S_2 und in einigen Fällen auch die Mond-Sonnentide K_2 in Betracht; ihre Perioden sind der Reihe nach 12·42, 12·00 und 11·97 Stunden. Von den ganztägigen Tiden sind vor allem die Mond-Sonnentide K_1, dann auch die Mondtide O und in einigen Fällen auch die Sonnentide P von Bedeutung; ihre Perioden sind 23·93, 25·82 und 24·07 Stunden. Zur Zeit der Syzygien gehen Sonne und Mond gleichzeitig mittags durch den Meridian, die beiden Tiden M_2 und S_2 erreichen ihre maximale Hubhöhe mit Verspätungen, die durch die Kappazahlen $\varkappa_m$ und $\varkappa_s$ gegeben sind. Springtiden-Hochwasser hat die Hubhöhe $2(M_2 + S_2)$, Nipptide dagegen eine Hubhöhe $2(M_2 - S_2)$. Die Springtide wird in der zweiten Hälfte März und September um $2K_2$ erhöht und um denselben Betrag in der zweiten Hälfte Juni und Dezember erniedrigt.

Die theoretische Periode der vereinigten M_2- und S_2-Tide zur Zeit der Syzygien beträgt nach R. v. Sterneck[1] rund 12·3 Stunden. Die Ableitung soll ihrer Einfachheit halber hier wiederholt werden. Bezeichnet man mit a und b die halben Hubhöhen dieser zwei Tiden und zählt man die Zeit von der Koinzidenz der beiden Wellen an, so beträgt die Elongation zur Zeit t

$$\eta = a \cos \frac{2\pi}{12 \cdot 42} t + b \cos \frac{2\pi}{12 \cdot 00} t.$$

Ein Maximum tritt, wie vorausgesetzt, bei $t = 0$ ein; der Abstand desselben zum nächsten Maximum stellt die gesuchte Periode T zur Zeit der Syzygien dar; für diese Zeit T muß $\frac{\partial \eta}{\partial t} = 0$ oder

$$\frac{a}{12 \cdot 42} \sin \frac{2\pi}{12 \cdot 42} T + \frac{6}{12 \cdot 00} \sin \frac{2\pi}{12 \cdot 00} T = 0.$$

Das theoretische Verhältnis von $a:b$ ist 2·17.

Setzt man außerdem $T = 12 \cdot 42 - \delta$, so nimmt die Gleichung die Form

$$-\frac{2 \cdot 17}{12 \cdot 42} \sin \frac{2\pi}{12 \cdot 42} \delta + \frac{1}{12 \cdot 00} \sin \frac{2\pi}{12 \cdot 00} (0 \cdot 42 - \delta) = 0.$$

Wegen der Kleinheit der Winkel kann in beiden Fällen der Sinus durch den Bogen ersetzt werden; die Gleichung liefert dann $\delta = 0 \cdot 14$ und $T = 12 \cdot 28$ Stunden, rund 12·3 Stunden. Mit dieser Periode müssen wir rechnen, wenn wir die Schwingungen der Gezeiten zur Zeit der Syzygien betrachten wollen.

[1] R. v. Sterneck, Hydrodynamische Theorie der halbtägigen Gezeiten des Mittelmeeres. Sitzber. 1915, 124. Bd., p. 17.

Die eintägigen Tiden sind meistens wesentlich kleiner als die halbtägigen. $M_2 + S_2$ gibt die Maximalgröße der Halbtagsgezeiten, $K_1 + O$ dagegen die Maximalgröße der Eintagstiden. Als Index für den Charakter der Tiden wird das Verhältnis dieser Summen genommen und spricht von Halbtagstypus der Gezeiten, wenn $\frac{K_1 + O}{M_2 + S_2} = 0$ bis $0 \cdot 25$ ist, von einem gemischten Typus, wenn das Verhältnis $0 \cdot 25$ bis $1 \cdot 25$ beträgt, dagegen von einem Eintagstypus, wenn es $1 \cdot 25$ und mehr beträgt. An den Orten mit Eintagstypus der Gezeiten folgt das Hochwasser nicht dem Meridiandurchgang des Mondes mit konstantem Intervall nach; es gibt also für diese Orte keine Hafenzeit im gewöhnlichen Sinne des Wortes. Die Phase von K_1 folgt der Sternzeit und Hochwasser folgt stets dem Meridiandurchgange eines bestimmten Fixsternes mit einem konstanten Zeitabstand.

Man ist übereingekommen, daß die Kappazahl von K_1 die Uhrzeit des Hochwassers zur Zeit der größten Sonnendeklination, also für den 21. Juni angibt. Die O-Tide schwächt und verstärkt periodisch die K_1-Tide, so daß auch beim Eintagstypus der Gezeiten Spring- und Nippfluten eintreten. Springtiden gibt es aber alle 13·66 Tage, während bei den Halbtagszeiten sie alle 14·765 Tage einander folgen.[1]

Sind die harmonischen Konstanten der Orte bekannt, so werden wir uns in folgenden Untersuchungen vor allem auf diese stützen; in den meisten Fällen werden wir uns aber mit den Daten, welche die Gezeitenerscheinung zur Zeit der Syzygien festlegen, begnügen müssen.

II. Teil.

Die Gezeiten des Roten Meeres.

1. Die Beobachtungstatsachen.

Wenn wir in der Reihe der Nebenmeere, deren Gezeitenerscheinungen wir nach dem im I. Teile niedergelegten Arbeitsmethoden untersuchen wollen, mit dem Roten Meere beginnen, so hat dies einen zweifachen Grund. Seine im allgemeinen einfachen orographischen Verhältnisse, die es einem langgestreckten, nahezu in nord-südlicher Richtung sich hinziehenden Kanal ziemlich ähnlich sein lassen, machen es wahrscheinlich, daß auch die Gezeitenerscheinungen in ihm einfacherer Natur sind. Die schmale und seichte Meeresstraße von Bab-el-Mandeb, die es mit dem Golfe von Aden verbindet, läßt, wie schon Krümmel[2] andeutet, erwarten, daß nur wenig Gezeitenenergie vom Indischen Ozean an die große eingeschlossene Wassermasse des Roten Meeres abgegeben wird und daß die nicht unbedeutenden Gezeiten dieses tiefsten aller Nebenmeere mehr selbständigen Charakter aufweisen. Inwieweit dies der Fall ist, wird sich erst im Laufe der Untersuchung ergeben. Andrerseits standen für dieses Meer von verschiedenen Küstenorten und Inseln verhältnismäßig zahlreiche Daten über die Hafenzeit und Hubhöhe der Flut zur Verfügung, die eine nähere Untersuchung der Gezeiten in diesem Meere auch aussichtsreich erscheinen ließ.

In orographischer Beziehung stellt das Rote Meer eine langgestreckte, rinnenartige Mulde dar, die im nördlichen Teile des Meeres den größten Teil derselben erfüllt; gegen Süden zu wird die rinnenartige Mulde immer schmäler, behält jedoch ihre große Tiefe (bis über 1000 *m*) bei, während sich auf beiden Seiten derselben korallenreiche Schelfe und ausgedehnte Bänke ausbreiten; in etwa $13^1/_2°$ N. Br. endet sie südlich der Hanischinseln mit einer Querschwelle, die eine Tiefe von 185 *m* aufweist. Diese Tiefe bleibt auch in der Straße von Bab-el-Mandeb erhalten; die engste Stelle derselben wird bei der Insel Perim erreicht, wo die Breite 29·8 *km*, die Querschnittsfläche 2·61 km^2 beträgt.

---

[1] Siehe Krümmel, Ozeanographie, II. Aufl., II. Bd., p. 267.

[2] Ozeanographie, II. Auflage, II. Teil, p. 382.

Am Nordende des Roten Meeres findet die Mulde eine Fortsetzung einerseits in dem Golf von Suez, andrerseits in den Golf von Akabah. Die orographischen Verhältnisse dieser beiden nahezu gleichlangen Ansätze sind grundverschieden. Der Golf von Suez ist außerordentlich seicht, indem seine mittlere Tiefe etwa 30 *m* beträgt, der Golf von Akabah stellt hingegen eine tiefe, ziemlich regelmäßig geformte Wanne dar, deren größte Tiefe 1000 *m* überschreitet, deren mittlere Tiefe immer noch 650 *m* beträgt.

Eine Zusammenstellung der Hafenzeiten und Hubhöhen bei Spring- und Nippflut einer Reihe von Küstenorten und Inseln findet man in R. A. Harris' Manual of Tide IV. auf p. 649 und 650;[1] dieselben Stationen, vermehrt um eine geringe Anzahl neuerer Werte, findet sich auch in den Deutschen Gezeitentafeln.[2] Mittels dieser zwei Quellen wurde folgende Tabelle 1, p. 56, angefertigt, welche für alle Stationen neben ihrer geographischen Lage die gewöhnliche Hafenzeit und die Hubhöhe bei Springflut enthält. Beigefügt wurde die auf den mittleren Meridian des Meeres (38° 28' östlich von Greenwich) reduzierte Hafenzeit; da das Rote Meer nur eine kleine west-östliche Erstreckung aufweist, bleiben die Korrekturen, die man an die gewöhnliche Hafenzeit, um diese in Ortszeit des mittleren Meridians zu erhalten, anbringen muß, gering.

Von keinem einzigen Orte im Roten Meere selbst ist bisher die harmonische Analyse der Gezeiten durchgeführt worden; eine ins Detail gehende Charakterisierung der Gezeiten dieses Meeres kann deshalb nicht gegeben werden. Nur die harmonischen Konstanten von Port Suez am Nordende des Golfes von Suez und teilweise auch jene von Perim am Anfang der Straße von Bab-el-Mandeb stehen uns zur Verfügung; hiezu kommen noch jene von Aden und von Djibouti, die uns über den Charakter der Gezeiten des offenen Meeres, mit dem das Rote Meer in Verbindung steht, unterrichten; die hauptsächlichsten Konstanten stehen für diese Orte in Tabelle 2 [p. 57].

Sehen wir zunächst von dem Golf von Suez und von jenem von Akabah im Norden ab, so zeigen die Beobachtungen, daß im ganzen nördlichen Teil des Roten Meeres Hochwasser nahezu zur selben Zeit (etwa 6^h) eintritt, daß hingegen der ganze südliche Teil, abgesehen vom äußersten Ausläufer vor der Straße von Bab-el-Mandeb, Hochwasser etwa um 1^h hat. Wenn auch der Zeitunterschied zwischen diesen zwei Hafenzeiten nicht ganz sechs Stunden beträgt, so können wir doch daraus entnehmen, daß wir es der Hauptsache nach mit einer stehenden Schwingung um eine Knotenlinie, etwa in der Mitte des Meeres, zu tun haben; daraufhin deutet auch die Amplitudenverteilung; im nördlichen Teile finden wir zur Zeit der Springflut Hubhöhen zwischen 60 und 90 *cm*, im südlichen Teile zwischen 90 und 120 *cm*, hingegen im mittleren Teil, in der Nähe von Mohammed Gul und Suakin, etwa 30 *cm*. Die Gezeitenerscheinung im Roten Meere scheint demnach ziemlich einfach zu sein. Komplizierter sind die Verhältnisse im südlichsten Ausläufer desselben und in der Straße von Bab-el-Mandeb selbst. Von der Hafenzeit 1^h auf den Hanischinseln ausgehend, findet man weiter im Süden Mokhá mit einer Hafenzeit 0^h und Perim, am Ausgang in den Golf von Aden mit einer Hafenzeit 8^h. Die Hafenzeit des letzten Ortes entspricht nahezu der Hafenzeit der Orte im Innern des Golfes von Aden, wo Aden selbst $7^h\,54^m$ und Zeila $7^h\,45^m$ als Hafenzeit haben. Die Wassermassen am südlichen Ausgange der Straße von Perim scheinen also noch mit jenen des Golfes von Aden zu schwingen und unbeeinflußt von den Gezeiten des Roten Meeres zu sein. Die Gezeiten in der Straße selbst sind aber sehr kompliziert. Schon von der Hafenzeit in Perim wird gesagt, daß sie »im allgemeinen« zur Zeit von Voll- und Neumond 8^h beträgt. In der englischen Admiralitätskarte der Straße von Perim steht, daß zwischen der Insel Perim und Kap Bab-el-Mandeb die »tide very strong and irregular« sind. Der Flutstrom fließt gegen NW, der Ebbestrom gegen SE, jedoch ist die Strömung, sowohl was Periode als Geschwindigkeit betrifft, sehr unregelmäßig; oft ist in der Mitte der Meeresstraße

---

[1] Sie wurden entnommen den »Tide Tables for the British and Irish Ports« und dem »Red Sea and Golf of Aden Pilot«.

[2] Gezeitentafeln für das Jahr 1917. Herausgegeben vom Reichsmarine-Amt. Berlin 1916.

Tabelle 1.

Gezeiten im Roten Meere.

Ort	Geog. Koord. nördl. Br.	Geog. Koord. östl. v. Gr.	Hafenzeit St. Min.	Hafenzeit, red. auf den mittl. Meridian[2]	Hochwasserhöhe bei Springzeit in *m*
Golf von Suez					
Suez, Port Ibrahim	29°58	32°32	11h59	12h23	2·0
Zafrana, Lchtf.	29 06	32 40	11 00	11 23	1·7
Sheratib, Riff.	28 36	33 13	11 00	11 21	0·9
Ras Gharib, Lchtf.	28 21	33 06	11 30	11 51	0·5
Tor	28 14	33 37	6 00	6 19	0·4
Ras Ikneisi	27 54	33 54	5 30	5 48	0·6
Akabah, Golf von Akabah	29 28	35 01	6 50	7 04	1·2
Omeider Ins.	29 10	34 56	6 00	6 14	1·2
Dahab	28 30	34 32	7 00	7 16	—
Rotes Meer.					
Ashrafi Ins., Lchtf.	27 47	33 43	6 00	6 19	0·55
Jifatin Ins.	27 14	33 55	6 00	6 18	0·6
Sherm Sheik	27 51	34 18	6 30	6 46	—
Sherm Noman	27 05	35 45	6 40	6 51	—
Brothers, Ins.	26 19	34 51	6 00	6 14	0·6
Koseir	26 08	34 16	8 00	6 17	0·9
Marduna Ins. (Ostküste)	26 04	36 28	6 00	6 08	0·9
Hassani, Ins.	24 58	37 04	6 00	6 05	—
Mersa Shâb	22 52	35 48	6 00	6 11	—
Jidda	21 27	39 10	—		0·6?
Lith	20 08	40 10	—		0·6
Mohamed Gul	20 54	37 12	7 38	7 43	0·3
Suakin (Lanakin)[1]	19 06	37 21	1 00	1 05	0·5
Trinkitat[1]	18 41	37 45	0 — (Febr.)	0 03	0·3
Makawar Ins.	16 57	41 20	0 30	0 22	0·6
Loheiya	15 42	42 39	1 30	1 13	0·9
Massaua, Hfn.	15 37	39 35	1 00	0 56	1·2
Dissei, Ankerpl.	15 30	39 48	1 20	1 15	0·9
Kamarán	15 20	42 45	1 04	0 47	1 0
Annesley B.	15 06	39 46	1 00	0 56	1·2
Dahalak, Bank	16 15	40 30	1 10	1 02	1·1
Hanfela, B.	14 46	40 42	—		1·1
Hanish Ins.	13 44	42 42	1 00	0 43	0·8
Mokhá. Red.	13 19	43 12	0 00	11 41	1·4
Perim, Ins.	12 38	43 24	8 00	7 40	1·5
Golf von Aden.					
Obokh	11 59	43 17	9h30(8h15?)	—	2·5
Zeila	11 24	43 28	7 45	7 25	2·6
Aden	12 47	44 59	7 54	7 28	2 1

[1] Im Sommer nur ein Hoch- und Niedrigwasser in 24 Stunden!

[2] 38°8 östl. v. Gr. = 2h33 Gr. Zeit

Tabelle 2.

	Lage der Station		Amplituden in *cm*					Kappazahlen				
	nördl. Br.	östl. v. Gr.	M_2	S_2	K_1	O_1	P_1	M_2	S_2	K_1	O_1	P_1
Aden	12°47	44°59	48	21	40	20	12	226·5°	246°	35°	37°	31°
Djibouti	11 35	43 12	53	23	41	20	13	220	239	30	35	30
Perim, Ins.	12 38	43 24	36	17	—	—	—	226·4	243	—	—	—
Suez	29 58	32 32	56	14	5	1	2	342·4	7	190	216	112

der Ebbestrom sehr gering, zuweilen besonders in der Nacht bei Voll- und Neumond fließt er mit einer Geschwindigkeit von etwa vier Meilen in der Stunde.[1] Aus diesen Bemerkungen ist zu entnehmen, daß in der Meeresstraße die Gezeitenverhältnisse sehr verworren sind und daß verschiedene Faktoren zusammenspielen müssen, um diese Unregelmäßigkeiten in Periode und Geschwindigkeit der Flutströmung hervorzurufen.

Der nördliche Teil des Golfes von Suez hat Hafenzeiten zwischen 11^h und 12^h, der südliche hingegen Hafenzeiten von etwa 6^h, welche mit jenen im nördlichen Teil des Roten Meeres übereinstimmen; in der Hauptsache werden wir es auch hier mit einer einfachen Schwingung mit einer Knotenlinie nördlich der Torbänke zu tun haben. Auch hier deutet die Hubhöhenverteilung auf das Vorhandensein einer solchen Knotenlinie. Längs der ganzen Länge des Golfes fließt die Strömung gegen Norden, wenn das Wasser in Suez ansteigt, und gegen Süden, wenn das Wasser dort fällt. In der Straße von Jubal, im südlichsten Teil des Golfes von Suez, an der Mündung in das Hauptbecken, beträgt in der Mitte des Kanals die Strömungsgeschwindigkeit bei Voll- und Neumond etwa $1^1/_2$ bis 2 Knoten in der Stunde.

Im ganzen Golf von Akabah tritt Hochwasser nahezu zur selben Zeit ein, die jener am Nordende der Hauptbeckens des Roten Meeres entspricht; die Hubhöhe ist jedoch etwas größer, als an der Mündung beobachtet wurde. Der Golf von Suez und jener von Akabah zeigen also ein ganz entgegengesetztes Verhalten, das wohl in den gänzlich verschiedenen Tiefenverhältnissen der beiden Becken begründet ist.

In folgender Fig. 18, die eine Karte des Roten Meeres wiedergibt, ist an den einzelnen Küstenorten und Inseln die auf die Zeit des mittleren Meridians reduzierte Hafenzeit und die Hubhöhe in *m* angegeben; sie gestattet, sich rasch einen Überblick über die Gezeitenerscheinungen der einzelnen Teile des Roten Meeres zu verschaffen.

Bevor wir zur Erklärung der Beobachtungstatsachen übergehen, müssen wir uns über die Eigenperioden des Hauptbeckens des Roten Meeres sowie der beiden Ansätze an seinem Nordende näher orientieren.

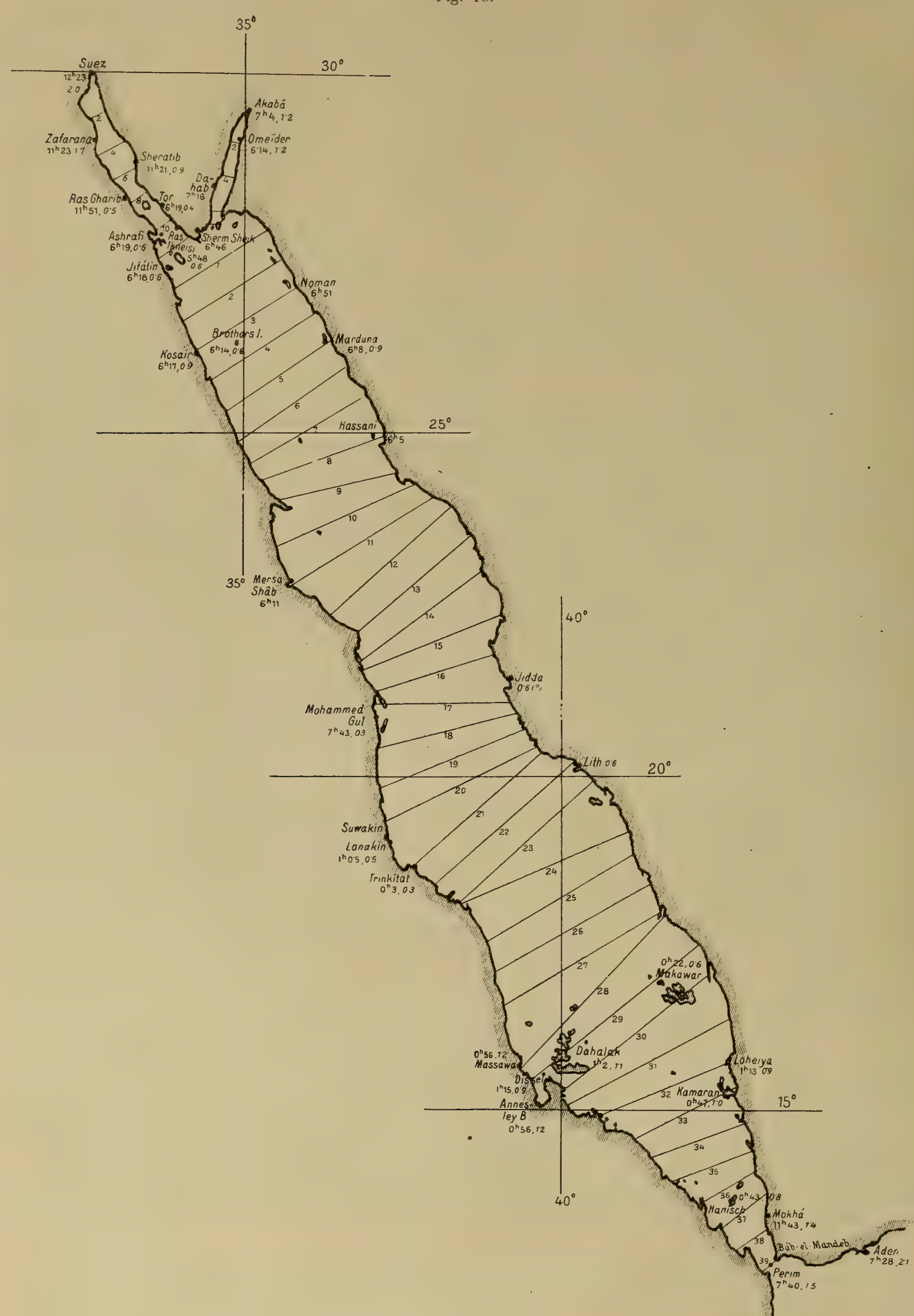
2. Die Eigenperiode des Golfes von Suez, des Golfes von Akabah, sowie des Hauptbeckens des Roten Meeres.

Zur Ermittlung der Eigenperiode dieser Wasserbecken benötigen wir eine nähere Ausmessung der Tiefen- und Breitenverhältnisse einiger senkrecht zur Längsachse der Becken gelegter Querschnitte. Eine ausführliche Tiefenkarte des Roten Meeres, die zum Teil auf neuere Lotungen, zum Teil auf den englischen Admiralitätskarten beruht, findet sich in den Veröffentlichungen der wissenschaftlichen Ergebnissen der ozeanographischen Forschungen S. M. Schiffs »Pola« im Roten Meere.[2] Für den Golf

[1] The Red Sea and Golf of Aden Pilot, 5. Auflage. London 1900. p. 17.

[2] Für den nördlichen Teil: Denkschriften der Wiener Akademie, 65. Band, 1898, Wissenschaftliche Ergebnisse der ozeanographischen Forschungen im Roten Meere; VI. Teil: Physikalische Untersuchungen von J. Luksch. Für den südlichen Teil, ebenda, 69. Band, 1901, XVIII. Physikalische Untersuchungen.

Fig. 18.



Hafenzeiten und Hubhöhen im Roten Meere.

von Suez und für jenen von Akabah sind dortselbst zwei eigene Kärtchen vorhanden, die mit der gewünschten Genauigkeit die bathymetrische Kurve der einzelnen Querschnitte festzulegen gestattet. Nur im südlichsten Teil des Roten Meeres war stellenweise, namentlich auf den ausgedehnten Bänken von Dahalak und Farisan und in der Straße von Bab-el-Mandeb eine größere Genauigkeit in den Tiefenverhältnissen erwünscht, die aus den in dieser Publikation veröffentlichten Tiefenkarte nicht zu entnehmen war. Deshalb wurden für diesen Teil des Meeres die Tiefenverhältnisse der großen englischen Admiralitätskarte entnommen, die mir in freundlicher Weise vom k. k. geographischen Institute der Wiener Universität zur Verfügung gestellt wurde. Ein kleines Nebenkärtchen dieser Karte gibt außerdem noch die Tiefenverhältnisse um die Insel Perim, so daß die Querschnittsflächen der Meeresstraße, die das Rote Meer mit dem Golf von Aden verbindet, außerordentlich genau ermittelt werden konnten.

a) Die Eigenperiode des Golfes von Suez.

Die Entfernung vom Nordende bei Port Suez bis zur Mündung ins Rote Meer (Straße von Jubal) beträgt 300 *km*; sie wurde in zwölf gleiche Teile geteilt und senkrecht zur Längsachse zwölf Querschnitte gezogen; die Entfernung zweier Querschnitte voneinander beträgt 25 *km*. Die Breite des Kanals und die Querschnittsflächen, die aus der bathymetrischen Kurve auf planimetrischem Wege ermittelt wurden, stehen für jeden Querschnitt in folgender Tabelle 3. Der letzte (zwölfte) Querschnitt gehört, sowohl was die Breite als auch was die Querschnittsfläche anbelangt, wohl nicht mehr zum Golf von Suez; er wurde deshalb bei der Ermittlung der Eigenperiode fortgelassen. Diese wurde nach der japanischen Methode durchgeführt; die wichtigsten Zahlenwerte finden sich in Tabelle 3, p. 116.

Die Eigenperiode des Golfes von Suez beträgt nach Anbringung der durch die wechselnden Breiten- und Querschnittsverhältnisse bedingten Korrektur 6·7 Stunden. Die Knotenlinie der freien Schwingung dürfte bei Querschnitt 6 zu liegen kommen; eine nähere Ermittlung derselben war für die folgenden Untersuchungen nicht notwendig.

b) Die Eigenperiode des Golfes von Akabah.

Die Länge desselben bis zur Mündung ins Rote Meer beträgt 182·25 *km*; insgesamt wurden neun gleichweit voneinander entfernte Querschnitte gelegt; ihre Entfernung betrug demnach 20·25 *km*. Breite und Fläche der einzelnen Querschnitte stehen in Tabelle 3, welche gleichzeitig die Ermittlung der Eigenperiode nach der japanischen Methode enthält. Nach dieser Methode findet man als Eigenperiode des Golfes von Akabah 0·92 Stunden. Die geringe Schwingungsdauer wird verursacht durch die großen Tiefen, die in den mittleren Teilen der Wanne vorkommen; sowohl gegen das Nordende wie gegen das Südende steigt der Meeresboden rasch zu geringeren Tiefen empor. Der Querschnitt an der Mündung hat eine mittlere Tiefe von bloß 61 *m*.

Die einfache Gestalt der Wanne ließ erwarten, daß hier auch die Chrystal'sche Methode zur Anwendung gelangen könnte. Tabelle 4 enthält die Koordinaten der Normalkurve, die in Fig. 19 graphisch wiedergegeben ist.

Die Oberflächenstücke zwischen je zwei Querschnitten wurden ebenfalls auf planimetrischem Wege direkt aus der Meereskarte bestimmt. Aus der Figur ersieht man, daß mit großer Annäherung die Normalkurve durch ein Dreieck ersetzt werden kann; die Lösung der Differentialgleichung der freien Schwingung findet sich für eine derartige Normalkurve im I. Teil auf p. 61.

Die Periodengleichung hat die Form

$$a' \, J_0(n\alpha) \; J_1(n\alpha') + \alpha \, J_0(n\alpha') \; J_1(n\alpha) = \Delta \doteq 0.$$

Im vorliegenden Falle ist:

$a' = 2500 \, km^2$, $a = 960 \, km^2$, $h = 670 \; 10^9 \, km^3$. Daraus folgt $\alpha = \frac{2a}{\sqrt{gh}} = 0 \cdot 750$, $\alpha' = \frac{2a'}{\sqrt{gh}} = 1 \cdot 952$

$\frac{a'}{a} = 2 \cdot 604.$

Tabelle 3.

Golf von Suez.

Ermittlung der Eigenperiode.

Querschnitt Nr.	Entfernung in *km*	$b(x)$ in *km*	$S(x)$ km^2	$\Delta b(x)$	$\Delta S(x)$	Mittlere Tiefe in *m*
0	0	0·00	0·00	— 29·24	— 1·06	0·00
1	25	25·93	0·62	— 3·31	— 0·44	23·9
2	50	29·08	1·03	— 0·16	— 0·03	35·3
3	75	23·36	0·89	— 5·88	— 0·17	38·0
4	100	35·38	1·38	+ 6·14	+ 0·33	39·1
5	125	46·86	2·35	+ 17·62	+ 1·30	50·5
6	150	38·92	1·52	+ 9 68	+ 0·46	39·1
7	175	24·07	0·85	— 5·17	— 0·20	35·5
8	200	27·60	0·95	— 1·64	— 0·11	34·4
9	225	31·68	0·97	+ 2·44	— 0·09	30·7
10	250	24·07	1·18	— 5·17	+ 0·12	48·2
11	275	43·89	0·93	+ 14·65	— 0·13	21·1

$b_0 = 29·24,\quad S_0 = 1·056,\quad h_0 = 36·11\ m,\quad l = 275\ km$

$$\Sigma \Delta b(x) \cos \frac{2\pi x}{l} = -39·25 \qquad T = 8·124\ (1-0·0610-0·1134)$$

$$\Sigma \Delta S(x) \cos \frac{2\pi x}{l} = -\ 2·64 \qquad T = 8·124.0·8256 = \mathbf{6·71}\ \text{Stunden.}$$

Golf von Akabah.

Querschnitt Nr.	Entfernung in *km*	$b(x)$ in *km*	$S(x)$ km^2	$\Delta b(x)$	$\Delta S(x)$	Mittlere Tiefe in *m*
0	0·00	0·00	0·00	— 17·54	—11·40	0·0
1	20·25	13·72	7·12	— 3·82	— 4·28	519
2	40·50	16·60	6·38	— 0 94	— 5·02	384
3	60·75	17·00	10·35	— 0 54	— 1·05	608
4	81·00	20·44	14·53	+ 2·90	+ 3·13	712
5	101·25	22·74	18·49	+ 5·20	+ 7·09	815
6	121·50	25·40	23·35	+ 7·86	+11·95	918
7	141·75	26·00	22·90	+ 8·46	+11·50	879
8	162·00	14·62	9·83	— 2·92	— 1·57	672
9	182·25	18·88	1·14	+ 1·34	—10·26	61

$b_0 = 17·54 \qquad h_0 = 649·94\ m$

$S_0 = 11·40 \qquad l = 182·25\ km$

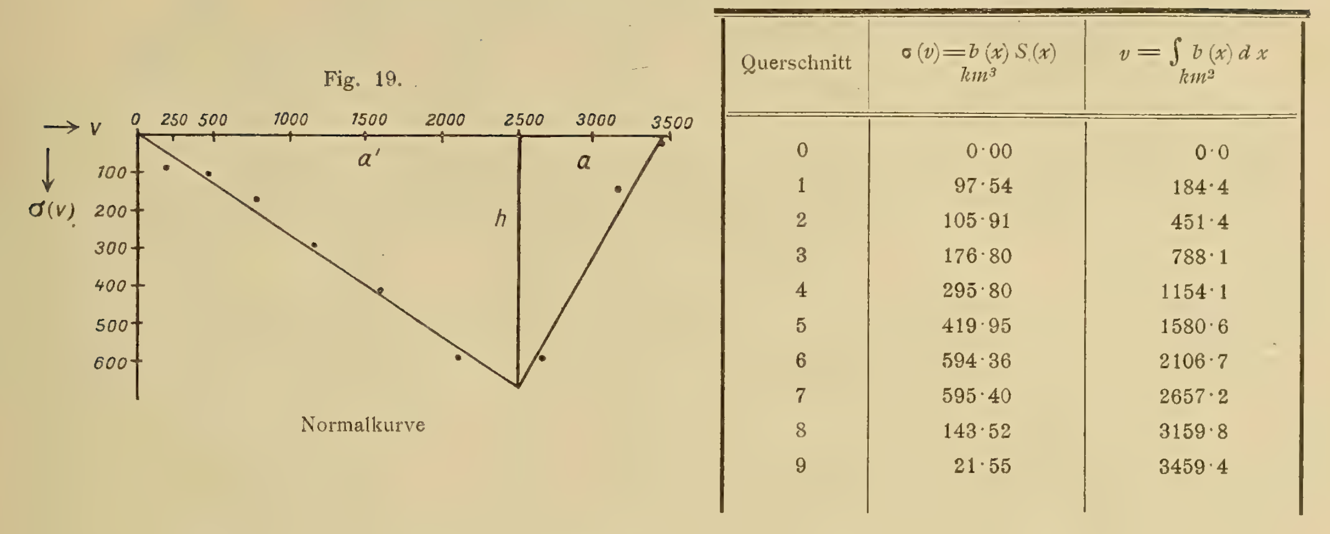
$$\Sigma \Delta b(x) \cos \frac{2\pi x}{l} = -42·86 \qquad T = 1·269\ (1-0·1358-0·1424)$$

$$\Sigma \Delta S(x) \cos \frac{2\pi x}{l} = -29·23 \qquad T = 1·269.0·7218$$

$T = \mathbf{0·92}$ Stunden.

Golf von Akabah.

Fig. 19.



Normalkurve

Tabelle 4.

Eigenperiode nach Chrystal.

Querschnitt	$\sigma(v) = b(x)\,S(x)$ km^3	$v = \int b(x)\,dx$ km^2
0	0·00	0·0
1	97·54	184·4
2	105·91	451·4
3	176·80	788·1
4	295·80	1154·1
5	419·95	1580·6
6	594·36	2106·7
7	595·40	2657·2
8	143·52	3159·8
9	21·55	3459·4

Der Zahlenwert Δ nimmt dann für folgende Werte von n folgende Werte an:

$$n = \quad 0{\cdot}0015 \qquad 0{\cdot}0017 \qquad 0{\cdot}0018 \qquad 0{\cdot}0027.$$

$$\Delta = +0{\cdot}616 \qquad +0{\cdot}174 \qquad +0{\cdot}0001 \qquad -0{\cdot}27.$$

Die erste Wurzel der Gleichung $\Delta = 0$ liegt demnach sehr nahe bei $n = 0{\cdot}0018$.

Daraus folgt als Periode der einknotigen freien Schwingung $T = \frac{2\pi}{n} = 0{\cdot}97$ Stunden. Die Übereinstimmung mit dem nach der japanischen Methode ermittelten Werte ist außerordentlich befriedigend.

Der Unterschied im Verhalten der Gezeiten zwischen dem Golf von Suez und dem Golf von Akabah findet sicherlich seine Begründung in der Tatsache, daß die Eigenperiode des seichten Golfes von Suez etwa sechsmal größer ist als die des tiefen Golfes von Akabah.

c) Die Eigenperiode des Roten Meeres.

Zur Berechnung der Eigenperiode des Hauptbeckens des Roten Meeres wurde zunächst nach der Tiefenkarte die ungefähre Lage des Talweges ermittelt und sodann senkrecht auf diesen 40 gleichweit voneinander abstehende Querschnitte gelegt. Der nullte Querschnitt fällt mit dem 12. Querschnitt des Golfes von Suez und mit dem neunten des Golfes von Akabah zusammen. Die Länge des Talweges bis zum 39. Querschnitte, der die Mündung des Roten Meeres in den Golf von Aden bildet und durch die Insel Perim hindurchgeht, beträgt 1950 *km*. Die Entfernung je zweier Querschnitte voneinander ist 50 *km*. Zur Orientierung über die ungefähre Lage der Querschnitte sind diese in der Figur 1 eingezeichnet. Die Breite, sowie der Flächeninhalt der einzelnen Querschnitte ist in folgender Tabelle 5, welche die Berechnung der Eigenperiode der abgeschlossenen Wassermasse nach der japanischen Methode enthält, mitgeteilt.

Aus unseren Ausmessungen folgt die mittlere Tiefe des ganzen Beckens zu 476 *m*, in guter Übereinstimmung mit dem Werte für die mittlere Tiefe von 488 *m*, den Krümmel[1] angibt. Die Periode der einknotigen freien Schwingung ergibt sich nach der japanischen Methode zu 12·34 Stunden; diese stimmt nahezu vollständig überein mit der Periode der vereinigten Sonnen- und Mondflut zur Zeit der Syzygien; diese Tatsache läßt erwarten, daß die Wassermasse des Haupt-

[1] Ozeanographie, I. Teil, p. 44.

Tabelle 5.

Rotes Meer.

Ermittlung der Eigenperiode.

Querschnitt Nummer	Entfernung vom Nordende	$b(x)$	$S(x)$	$\Delta b(x)$	$\Delta S(x)$	mittlere Tiefe	Normalkurve	
							$\sigma(v) = b(x)\,S(x)$	$v = \int_0^x b(x)\,dx$
	km	*km*	*km*²	*km*	*km*²	*m*	10³ *km*³	10⁴ *km*²
0	00	76·8	9·5	— 147·5	— 97·2	125	·733	0·000
1	50	168·2	107·0	— 56·1	+ 0·3	637	17·976	0·682
2	100	184·0	127·0	— 40·3	+ 20·3	690	23·368	1·504
3	150	186·8	140·1	— 37·5	+ 33·4	750	26·050	2·381
4	200	196·4	131·6	— 27·9	+ 24·9	670	25·872	3·332
5	250	197·8	159·4	— 26·5	+ 52·7	804	31·641	4·304
6	300	204·3	135·9	— 20·0	+ 29·2	668	27·744	5·299
7	350	208·3	116·2	— 16·0	+ 9·5	558	24·128	6·261
8	400	213·3	128·3	— 11·0	+ 21·6	578	27·264	7·217
9	450	199·4	124·8	— 24·9	+ 18·1	627	24·874	8·173
10	500	239·0	150·8	+ 14·7	+ 44·1	632	36·089	9·145
11	550	254·1	178·5	+ 29·8	+ 71·8	704	45·466	10·291
12	600	245·9	145·6	+ 21·6	+ 38·9	592	35·916	11·404
13	650	235·6	179·2	+ 11·3	+ 72·5	760	42·244	12·583
14	700	247·7	212·6	+ 23·4	+ 105·9	852	52·824	13·802
15	750	234·4	170·4	+ 10·1	+ 63·7	731	40·014	14·942
16	800	194·5	163·8	— 9·8	+ 57·1	839	31·980	15·982
17	850	222·5	153·5	— 1·8	+ 46·8	688	34·119	17·125
18	900	232·0	196·0	+ 7·7	+ 89·3	845	45·240	18·199
19	950	259·8	175·5	+ 35·5	+ 68·8	677	45·760	19·428
20	1000	298·5	173·7	+ 74·2	+ 67·0	582	52·026	20·798
21	1050	301·8	135·9	+ 77·5	+ 29·2	452	41·072	22·245
22	1100	290·6	118·2	+ 66·3	+ 11·5	406	34·338	23·692
23	1150	297·4	114·4	+ 73·1	+ 7·7	384	33·858	25·131
24	1200	288·4	124·1	+ 64·1	+ 17·4	431	35·712	26·866
25	1250	280·0	118·1	+ 55·7	+ 11·4	423	33·040	28·298
26	1300	293·6	106·8	+ 69·3	+ 0·1	364	31·458	29·760
27	1350	308·6	96·8	+ 84·3	— 9·9	314	29·911	31·199
28	1400	351·5	67·6	+ 127·2	— 39·1	192	23·795	32·943
29	1450	360·0	75·4	+ 135·7	— 31·3	209	27·144	34·577
30	1500	324·2	58·6	+ 99·9	— 48·1	181	18·964	36·086
31	1550	310·8	59·5	+ 86·5	— 47·2	192	18·505	37·487
32	1600	254·0	26·7	+ 29·7	— 80·0	106	6·782	38·747
33	1650	189·6	26·3	— 34·7	— 80·4	139	4·997	39·852
34	1700	173·0	30·5	— 51·3	— 76·2	176	5·277	40·614
35	1750	154·7	14·2	— 69·6	— 92·5	92	2·201	41·423
36	1800	106·1	5·3	— 118·2	— 101·4	50	·562	42·007
37	1850	99·2	5·5	— 125·1	— 101·2	60	·546	42·497
38	1900	61·6	1·7	— 162·7	— 105·0	28	·105	42·870
39	1950	29·8	2·6	— 194·5	— 104·1	87	·077	43·081

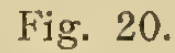
$b_0 = 224{\cdot}31 \qquad S_0 = 106{\cdot}73 \qquad h_0 = 475{\cdot}8\,m \qquad l = 1950\,km.$

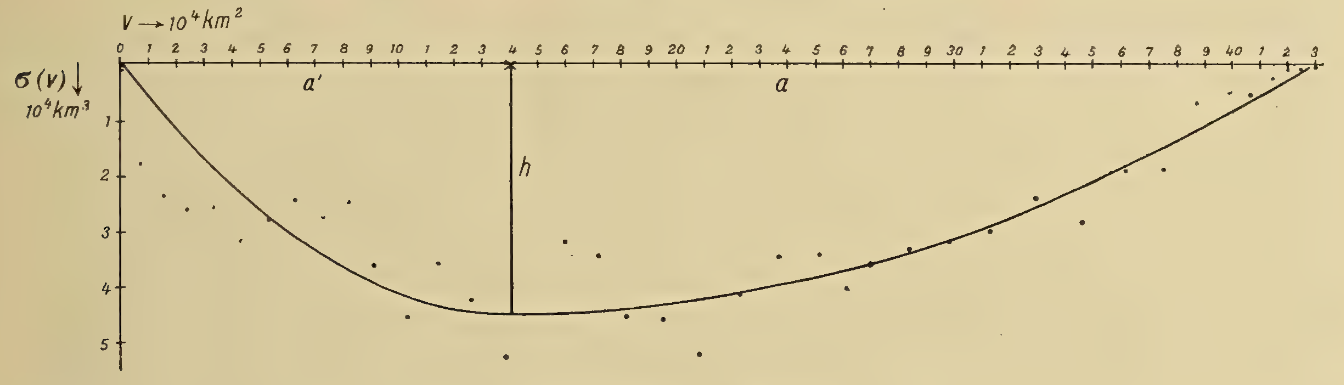
$$\Sigma\,\Delta\,b\,(x)\cos\frac{2\pi x}{l} = -\,1517{\cdot}33 \qquad T = 15{\cdot}873\;(1 - 0{\cdot}08672 - 0{\cdot}13566)$$

$$\Sigma\,\Delta\,S\,(x)\cos\frac{2\pi x}{l} = -\,1129{\cdot}34 \qquad T = 15{\cdot}873 . 0{\cdot}77762 = 12{\cdot}34 \text{ Stunden}$$

beckens Resonanzschwingungen ausführen wird, wodurch die Amplituden der Schwingung relativ große Beträge annehmen können. Schon Krümmel hat durch eine Überschlagsrechnung, in der er allerdings für die mittlere Tiefe des Beckens den durch die Tatsachen nicht gestützten Wert von rund 700 *m* einführt, gezeigt, daß die Periode der freien Schwingung des Hauptbeckens der Periode der halbtägigen Gezeitenkraft ziemlich nahe kommt. Die genauere Entwicklung der Eigenperiode bestätigt diese Vermutung vollauf.

Auch nach der Chrystal'schen Methode ergibt sich ein ähnlicher Wert für die Eigenperiode des Hauptkörpers des Roten Meeres; Tabelle 5 enthält auch die Koordinaten der Normalkurve; sie sind in Fig. 20 punktweise eingetragen; wollen wir diese durch einen einfachen Kurvenzug ersetzen, so


Fig. 20.



Normalkurve des Roten Meeres.

dürfte die Wahl einer parabolischen Normalkurve der Wirklichkeit am nächsten kommen; die zwei Parabeln sind in der Figur eingetragen; ihre Gleichungen sind:

$\sigma(v) = 4 \cdot 5 . 10^4 \left(1 - \frac{v^2}{14^2 . 10^8}\right)$ und $\sigma(v) = 4 \cdot 5 . 10^4 \left(1 - \frac{v^2}{28 \cdot 7^2 . 10^8}\right)$. Daraus folgt $h = 4 \cdot 5 . 10^4 \, km^3$

$a' = 14 . 10^4 \, km^2$, $a = 28 \cdot 7 . 10^4 \, km^2$ und $l = 42 \cdot 7 . 10^4 \, km^2$; $\frac{a'}{a} = 0 \cdot 4878$, $\frac{a'^2}{a^2} = 0 \cdot 2380$.

Die Periodengleichung für ein unsymmetrisches konkavparabolisches Becken hat nach Fall 2 auf p. 64 die Form

$$\frac{a'}{a} C(c, 1) S\left(c \frac{a'^2}{a^2}, 1\right) + C\left(c \frac{a'^2}{a^2}, 1\right) S(c, 1) = \Delta = 0, \text{ worin } c = \frac{a'^2 n^2}{g h} \text{ und } T = \frac{2\pi}{n} \text{ ist.}$$

Wir müssen also die erste Wurzel dieser Gleichung finden. Für folgende Werte von c ergeben die Tabellen der Funktionen C und S folgende Werke für Δ:

$c =$ 2·0	2·4	3·0	3·2	3·4	3·5	3·6
$\Delta =$ + 0·3477	+ 0·2214	+ 0·0767	+ 0·0387	+ 0·0050	— 0·0098	— 0·0242.

Die erste Wurzel von $\Delta = 0$ liegt also bei $c = 0 \cdot 3433$. Darauf folgt als Periode der einknotigen freien Schwingung T = 12·88 Stunden. Die Übereinstimmung mit dem nach der japanischen Methode erhaltenen Werte ist also ausgezeichnet.

Es ist vielleicht von Interesse, über die Lage der Knotenlinie der freien Schwingung unterrichtet zu sein; die Bestimmung derselben erfordert eine etwas längere Rechnung; wir wollen hier nur die Hauptpunkte hervorheben. Die Knotenlinie tritt für jene Werte der Koordinate

$$w = \frac{v}{a} \text{ beziehungsweise } w' = \frac{v}{a'}$$

ein, für die eine der Gleichungen

$$\Phi(w) = S'(c, w) \, K(c, 1) - C'(c, w) = 0$$

oder

$$\Phi(w') = S'(c', w')\ K(c'\ 1) - C'(c', w') = 0$$

ist; hierin bedeutet $K(c, 1) = C(c, 1) : S(c, 1)$ und $c = 0{\cdot}3433$. Die numerischen Werte der Funktionen $S'(c, w)$ und $C'(c, w)$ müssen durch die entsprechenden Reihenentwicklungen [1] berechnet werden; da diese aber sehr rasch konvergieren, genügt es vollständig, bis zum fünften oder sechsten Gliede zu gehen.

Das Ergebnis der Rechnung ist, daß für

$w =$	$0{\cdot}1$	$0{\cdot}2$	$0{\cdot}3$	$0{\cdot}35$
$\Phi(w) =$	$-0{\cdot}9529$	$-0{\cdot}5693$	$-0{\cdot}0268$	$+0{\cdot}1061$

ist.

$\Phi(w)$ wird also null für $w = \frac{v}{a} = 0{\cdot}31$. Da $a = 28{\cdot}7 . 10^4\ km^2$ ist, erhält man die Knotenlinie bei der Koordinate $v = 0{\cdot}31 . 28{\cdot}7 . 10^4\ km^2 = 8{\cdot}897\ km^2$. Zählt man vom Nordende des Becken aus, so müssen wir $a' = 14 . 10^4\ km^2$ hinzufügen und erhalten die Knotenlinie bei $v = 22{\cdot}897 . 10^4\ km^2$. Nach Tabelle 5 findet man, daß die Knotenlinie der einknotigen freien Schwingung zwischen dem 21. und 22. Querschnitt, etwa 1075 *km* südlich der Spitze der Halbinsel Sinai, in der Höhe von Suakin-Lith liegt. Aus der Hubhöhenverteilung längs des Hauptbeckens sahen wir, daß gerade in der Nähe von Suakin-Mohammed Gul auf der einen Seite und Lith auf der anderen Seite ein Minimum der Amplituden der Gezeiten eintritt; diese Lage entspricht ebenfalls der Lage des 21., beziehungsweise 22. Querschnittes. Auch aus dieser Übereinstimmung kann geschlossen werden, daß das Hauptbecken des Roten Meeres eine Eigenperiode besitzt, die jener der halbtägigen Gezeiten sehr nahe kommt, daß also in diesem Falle ein Mitschwingen der Wassermassen mit der Periode der Kraft erfolgt. Wäre die Eigenperiode größer, beziehungsweise kleiner als die Periode der Halbtagsgezeiten, könnte nie die entsprechende Knotenlinie zusammenfallen, wie es im vorliegenden Falle zutrifft. Es ist aber hiebei hervorzuheben, daß bei den Berechnungen der Eigenperiode das Hauptgewicht auf die orographischen Verhältnisse des Hauptbeckens fällt und daß das südliche Ende des Roten Meeres, das heißt die Straße von Bab-el-Mandeb nur wenig Einfluß auf das Rechnungsergebnis besitzt. Anders würde es sich verhalten, wenn man die Eigenperiode des ganzen Meeres bis zur Periminsel herab nach der Restmethode ermitteln möchte. Wie aus späteren Ausführungen folgt, würde sich durch diese Methode, die auch die Straße von Bab-el-Mandeb vollauf berücksichtigt, eine etwas größere Eigenperiode (etwa 18 Stunden) ergeben. So wichtig dies für das Mitschwingen der Wassermassen des Roten Meeres mit den Gezeiten des Golfes von Aden ist, bleibt es doch eine für die Theorie der Gezeiten dieses Meeres wichtige Thatsache, daß das eigentliche Hauptbecken des Roten Meeres, das sich von der Sinaihalbinsel südwärts bis etwas südlich der Hanishinseln erstreckt, eine der Periode der Halbtagsgezeiten sehr nahekommende Eigenperiode besitzt.

3. Die Gezeiten im Golf von Suez und im Golf von Akabah.

Die Gezeiten der beiden Ansätze am Nordende des Roten Meeres dürften wohl nahezu ausschließlich Mitschwingungserscheinungen der Wassermenge der zwei Golfe mit der Gezeitenbewegung am Nordende des Roten Meeres darstellen. Die selbständigen Gezeiten spielen nur eine ganz untergeordnete Rolle; über die Größe der eigenen Gezeit können wir uns in beiden Fällen orientieren, wenn wir sie für einen Kanal gleicher Länge, jedoch mit einer Tiefe, die der mittleren Tiefe der Golfe entspricht, berechnen.

Im I. Teil, 2. Abschnitt *D* haben wir gesehen, daß die selbständigen Gezeiten in Wasserkanälen, sowohl was Phase und im geringeren Grade auch was Amplitude betrifft, von der Richtung abhängen,

---

[1] Die nähere Entwicklung siehe: Chrystal und E. Wedderburn, Calculation of the Period and Nodes of Lochs Earn and Treig. Transact. of the roy. soc. of Edinburgh, 41. Bd., 1904—05, p. 823.

in welcher sie sich erstrecken. Zur Berechnung der Größe und Phase der Kraft für die beiden hier in Betracht kommenden Kanäle können wir die dortigen Formeln sofort anwenden.

Für den Golf von Suez findet man: $\varepsilon = 29°$, $\varphi = 29°$; daraus folgt als Phase der Kraft $H = 10{\cdot}4^h$ und für $\beta = 0{\cdot}644$. Die entsprechenden Werte für den Golf von Akabah sind: $\varepsilon = -16°$ $\varphi = 29°$; diese Werte ergeben $H = 1{\cdot}2^h$ und $\beta = 0{\cdot}542$.

In der Längsrichtung des Golfes von Suez wirkt demnach zur Zeit der Syzygien eine periodische Kraft $\varkappa = 1{\cdot}235{\cdot}0{\cdot}874{\cdot}0{\cdot}644\, 10^{-7}{\cdot}g \cos \frac{2\pi}{12{\cdot}3}(t - 10{\cdot}4)$. in der Richtung der Längsachse des Golfes von Akabah hingegen eine Kraft $\varkappa = 1{\cdot}235{\cdot}0{\cdot}874{\cdot}0{\cdot}542\, 10^{-7}{\cdot}g \cos \frac{2\pi}{12{\cdot}3}(t - 1{\cdot}2^h)$. Unter Einwirkung dieser periodischen Kräfte entwickelt sich in beiden einseitig offenen Kanälen eine selbständige Gezeit, bei der, wie I. Teil, 5. Abschnitt, nachgewiesen wurde, an der Mündung des Kanals eine Knotenlinie vorhanden ist. Würden die Kanäle überall gleichförmigen Querschnitt besitzen, so wäre die Amplitude der selbständigen Gezeit $\eta = -\frac{h\nu\pi\varkappa}{l\,\sigma^2}\frac{\sin\ \nu\pi}{\cos\ \nu\pi}$.

Für den Golf von Suez ist $\nu = 0{\cdot}55$ und 2η wird $12{\cdot}4\, cm$; für den Golf von Akabah ist hingegen $\nu = 0{\cdot}075$ und 2η wird $-1{\cdot}6\, cm$. Im Golf von Suez erreicht also die Hubhöhe der selbständigen Gezeiten immerhin am Nordende 12 *cm* und hat dieselbe Phase oder die Phase der erzeugenden Kraft, im Golf von Akabah ist die Hubhöhe nicht ganz 2 *cm*, also wohl zu vernachlässigen; ihre Phase ist gegenüber jener der Kraft um 6 Stunden vorgehoben, beträgt also $7{\cdot}2^h$.

Für den Golf von Suez wollen wir nun unter Zugrundelegung der errechneten Hubhöhe am Nordende die Verteilung der Hubhöhen längs des Kanals nach der Restmethode berechnen.

Die entsprechenden Gleichungen, die hiezu benützt wurden, sind, da $g = 9{\cdot}793\, m/\text{sek.}^{-2}$ und

$$\Delta x = 25{\cdot}10^{-3}\, m \text{ ist} \quad 2\Delta\eta = 5{\cdot}142{\cdot}10^{-5}{\cdot}2\,\xi + 3{\cdot}476{\cdot}10^{-3} \text{ und } 2\,\xi = -\frac{1}{S\,(x)}\, v\,(x)\, 2\eta.$$

Unter der Annahme $2\eta = 15\, cm$ am Nordende wird 2η bereits zwischen dem 8. und 9. Querschnitt Null, also zu früh; für $2\eta = 10\, cm$ am Nordende tritt dies zwischen dem 9. und 10. Querschnitt ein und für $2\eta = 9\, cm$ zwischen dem 10. und 11. Querschnitt. Dieser Wert und die daraus folgende Verteilung entsprechen also der selbständigen Gezeit im Suez-Golfe; die entsprechenden Werte für die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen an den einzelnen Querschnitten sowie die Hubhöhenverteilung längs des ganzen Kanals stehen in folgender Tabelle 6 (p. 66).

Im ganzen Golfe besitzt die selbständige Gezeitenkomponente die Phase $10{\cdot}4^h$ und besteht in einer einheitlichen Erhebung, beziehungsweise Senkung der Gleichgewichtsoberfläche um eine Knotenlinie an der Straße von Jubal, die die Mündung in das Hauptbecken des Roten Meeres bildet.

Die Kleinheit der Hubhöhen der selbständigen Gezeitenkomponente sowohl im Golf von Suez sowie im Golf vom Akabah gegenüber den immerhin erheblichen Hubhöhen der beobachteten Gezeiten läßt wohl erwarten, daß das Mitschwingen der beiden Wassermassen mit der Gezeitenbewegung im Hauptbecken die Haupterscheinung bildet. Wir wollen uns jetzt damit beschäftigen.

Um das Mitschwingen der Wassermassen beider Golfe mit der Gezeitenbewegung am Nordende des Roten Meeres zu bestimmen, benützen wir die v. Sterneck'sche Methode. Die entsprechenden Formeln finden sich im I. Teil auf p. 11. Als Periode der äußeren Gezeitenbewegung nehmen wir die Periode der vereinigten Sonnen- und Mondflut zur Zeit der Syzygien $T = 12{\cdot}3^h$. Für den Golf von Suez ist $g = 9{\cdot}793\, m/\text{sek.}^{-2}$, $\Delta x = 25{\cdot}10^3\, m$ und $2\Delta\eta = 0{\cdot}0000\,514.2\,\xi$; für den Golf von Akabah hingegen $\Delta x = 20{\cdot}25{\cdot}10^3\, m$ und $2\Delta\eta = 0{\cdot}00004163{\cdot}2\,\xi$.

Die Ergebnisse der Rechnung stehen für den Golf von Suez ebenfalls in der Tabelle 6, für den Golf von Akabah in folgender Tabelle 6 *a*. Die Hubhöhenverteilung ist in beiden Fällen mit der will-

Tabelle 6.

Golf von Suez.

Querschnitt Nr.	Selbständige Gezeit Phase[1] = 10^h4				Mitschwingen mit dem Roten Meere					Phase[1]	Zusammensetzung beider Wellen		Hafenzeit
	q km^3	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm	q km^3	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm	Hubhöhe in cm		Hubhöhe in cm	Phase[1]	(Sonnenzeit)
0	0·0	0	—	9·0	0·00	0·0	—	100·—	+ 158·6	0^h1	165	0^h0	12·3
1	0·32	— 52	+ 0·1	9·1	0·32	— 523	— 2·7	97·3	154·2	0·1	160	0·0	12·3
2	0·11	— 102	— 0·2	8·9	0·99	— 967	— 5·0	92·3	146·6	0·1	152	0·0	12·3
3	0·16	— 175	— 0·6	8·4	1·60	—1798	— 9·2	83·1	132·0	0·1	137	0·0	12·2
4	0·21	— 150	— 0·4	7·9	2·21	—1599	— 8·2	74·8	118·2	0·1	123	—0·01	12·1
5	0·29	— 124	— 0·3	7·5	2·98	—1265	— 6·5	68·3	104·2	0·1	109	—0·01	12·0
6	0·37	— 242	— 0·9	6·6	3·71	—2441	—12·5	55·7	88·2	0·1	94	—0·02	11·9
7	0·42	— 490	— 2·2	4·5	4·20	—4914	—25·3	30·5	48·4	0·1	51	—0·03	11·8
8	0·45	— 471	— 2·1	2·4	4·39	—4635	—23·8	6·6	10·5	0·1	12	—0·04	11·7
9	0·46	— 480	— 1·2	1·3	4·44	—4356	—22·4	—15·7	— 24·9	0·1	25	6·1	6·3
10	0·47	— 396	— 1·2	0·1	4·23	—3177	—16·3	—31·1	— 49·3	0·1	49	6·1	6·3
11	0·48	(—450)	—	0·—	3·92	—3372	—17·3	—48·4	— 76·8	0·1	77	6·1	6·3
12				0·—	3·30	— 399	— 2·1	—50·5	— 80·—	0·1	80	6·1	6·3

[1] In Mondstunden.

Tabelle 6*a*.

Golf von Akabah.

Querschnitt Nr.	q km^3	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm	Hubhöhe cm
0	0·00	—	—	100·—	118·6
1	0·14	— 20	— 0·08	99·9	118·3
2	0·45	— 70	— 0·29	99·6	118·1
3	0·79	— 76	— 0·32	99·3	117·7
4	1·16	— 80	— 0·34	99·0	117·3
5	1·60	— 86	— 0·36	98·6	116·9
6	2·08	— 89	— 0·37	98·1	116·2
7	2·59	— 113	— 0·47	97·7	115·9
8	2·99	— 304	— 1·27	96·4	114·1
9	3·32	— 291	—12·11	84·3	100·—

kürlichen Annahme berechnet worden, daß 2η an den Nordenden $+100\,cm$ beträgt. Die Kolonnen unter »Hubhöhe« der beiden Tabellen enthalten die Hubhöhenverteilung, wenn am Südende Übereinstimmung mit der aus den Beobachtungen sich ergebenden Hubhöhe am Nordende des Hauptbeckens vorhanden ist. Am Südende des Golfes von Suez wurde $2\eta = 80\,cm$ gewählt; es haben Jifátin 60 *cm*, Koseir 90 *cm* als Hubhöhe und aus der späteren Untersuchung ergibt sich, daß 80 *cm* am ehesten den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen wird.

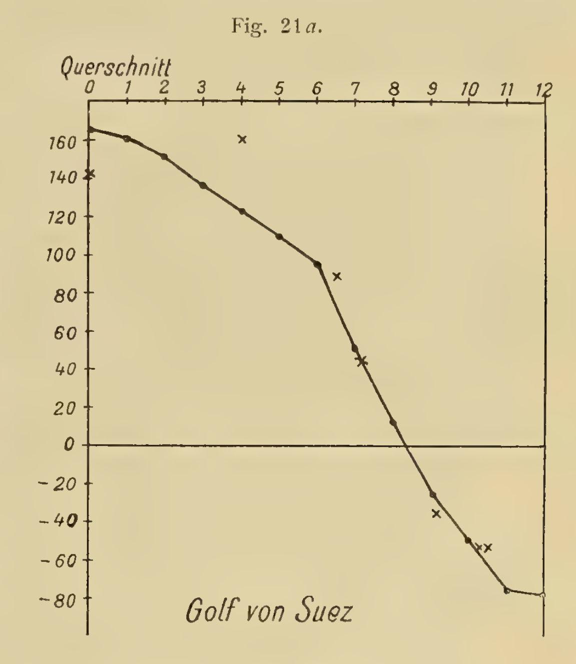
Für die Mündung des Golfes von Akabah wurde ein etwas größerer Wert, nämlich $2\eta = 100\,cm$ gewählt; die geringe Tiefe des Roten Meeres vor der Mündung des Golfes von Akabah läßt eine

rasche Zunahme der Amplitude der Gezeiten vor der Mündung des Golfes erwarten. Für das Mitschwingen der Wassermassen des Golfes sind aber die Hubhöhen an der Mündung maßgebend; der angenommene Wert $2\,\eta = 100\,cm$ dürfte sicherlich nicht zu groß, eher zu klein sein.

Das Mitschwingen der Wassermassen des Golfes von Suez erfolgt in Form einer stehenden Schwingung um eine Knotenlinie, die etwas südlich des achten Querschnittes liegt, in einer Entfernung von 415 *km* vom Nordende. Wenn die südlicheren Teile des Golfes Hochwasser haben, haben die nördlichen Teile Niedrigwasser und umgekehrt. Die Phase der Schwingung ist im südlichen Teile identisch mit jener der äußeren Gezeitenbewegung, also etwa 6^h1 Mondstunden (6^h3 Zeit des mittleren Meridians des Roten Meeres). Die Phase des Schwingungsastes nördlich der Knotenlinie ist selbstverständlich um 6 Mondstunden verschieden, also 0^h1. Die Knotenlinie liegt bei den Torbänken; der nördliche Ast der stehenden Welle ist demnach viel länger als der südliche. Tabelle 6 gibt die Hubhöhenverteilung; während an der Mündung ins Rote Meer die Mitschwingungskomponente Hubhöhen von etwa 70 bis 80 *cm* aufweist, findet man im innersten Teil des Golfes Hubhöhen bis über 150 *cm*.

Die Mitschwingungsgezeit ist demnach die Haupterscheinung; die selbständige Gezeitenkomponente tritt ihr gegenüber nahezu völlig zurück. In Tabelle 6 sind die aus der Superposition beider stehenden Wellen entstehenden Gezeiten des Golfes von Suez sowohl was Hubhöhe als auch was Hafenzeit betrifft angegeben. Die Hubhöhenverteilung wird durch die selbständige Gezeitenkomponente nur wenig modifiziert; etwas mehr beeinflußt wird die Hafenzeit; sie erfährt im nördlichen Aste eine kleine Verfrühung, die am Nordende am kleinsten ist und etwas größer wird mit Annäherungen an die Knotenlinie. Der südliche Ast der Welle ist die reine Mitschwingungsgezeit. Fig. 21 *a* gibt die theoretische Hubhöhenverteilung im Golfe von Suez.

Fig. 21 *a*.



Die Beobachtungstatsachen finden durch diese theoretische Berechnung eine volle Erklärung; zwischen Tor und Ras Gharib muß nach den Beobachtungen eine Knotenlinie der Schwingung liegen, da Tor eine Hafenzeit 6^h19, Ras Gharib eine solche von 11^h51 hat. Zwischen beiden Orten liegt aber der Querschnitt 8, wo nach den theoretischen Erörterungen eine Knotenlinie vorhanden sein soll. In Fig. 21 *a* sind durch kleine Kreuze die Hubhöhen der einzelnen Küstenorte an den entsprechenden Stellen eingetragen; sie zeigen, daß die theoretische Hubhöhenverteilung sich in sehr befriedigender Weise an die beobachteten Hubhöhen anschmiegt. Nur im innersten Teile des Golfes sind die theoretischen Hubhöhen kleiner als die beobachteten; dies dürfte aber unschwer eine Erklärung in den sehr seichten Küstengebieten finden, die ja eine Vergrößerung der Hubhöhe bedingen. Nimmt man aber als Hubhöhe von Port Suez jene der halbtägigen Gezeiten (M_2+S_2), so findet man in guter Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert 140 *cm*, während man sonst die Hubhöhe bei Springflut mit 200 *cm* angegeben findet; dem ersteren, aus der harmonischen Analyse stammenden Wert ist mehr Vertrauen zu schenken.

Geradezu auffallend gut stimmen die theoretischen Hafenzeiten mit den beobachteten überein; nicht nur die Grunderscheinung, daß südlich der Knotenlinie die Hafenzeit etwa 6^h3, nördlich derselben um etwa 6^h mehr, d. i. etwa 12^h ist, findet sich in den theoretischen Werten wieder; auch die sekundäre Tatsache, daß knapp nördlich der Knotenlinie die Hafenzeiten etwas verfrüht gegenüber den Küstenplätzen des innersten Golfteiles sind und die man gerne ungenauen Zeitangaben zuschreiben möchte, spiegelt sich in der theoretischen Verteilung der Hafenzeiten wider. So haben Zafarana und Sheratib als Hafenzeit nach den Beobachtungen etwa 11^h6 bis 11^h7 gegen 12^h4 in

Port Suez, nach der Theorie hingegen etwa 11^h8 gegen 12^h3. Auch der Betrag der Verfrühung ist demnach derselbe. Eine solche Übereinstimmung war nach den Grundlagen der Rechnung nicht zu erwarten.

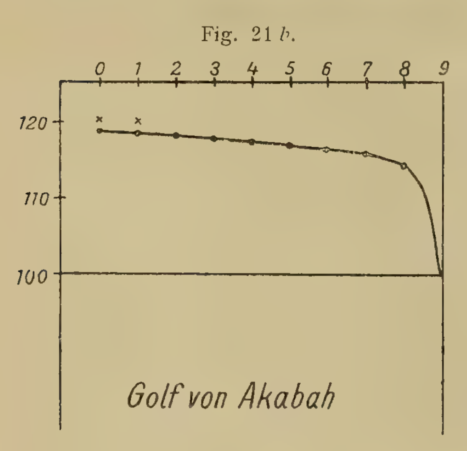
Um die Knotenlinie bei den Torinseln muß durch Einwirkung der Erdrotation eine kleine Amphidromie entstehen; die Amplitude der Querschwingung ist aber so klein, daß ihr Einfluß auf die Längsschwingungen gänzlich zurücktritt; eine nähere Ermittlung derselben bietet kein Interesse.

Aus den Werten für die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen in Tabelle 6 ersieht man, daß die Flutströmung stets gegen Norden gerichtet ist, solange das Wasser am Nordende ansteigt, dagegen gegen Süden, wenn das Wasser am Nordende fällt; dies ergeben auch, wie im ersten Abschnitt dieses Teiles erwähnt wurde, die Beobachtungen. In der halben Mondperiode wird durch den 11. Querschnitt nach Tabelle 6 die Wassermenge von $3 \cdot 92 \frac{80}{50 \cdot 5}$ km^3 hindurchgeschoben; also in 6·15 Stunden insgesamt 6·21 km^3; da die Querschnittfläche 0·93 km^2 beträgt, ergibt sich eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 1·09 *km* pro Stunde oder 0·68 Seemeilen pro Stunde. Als maximale Strömungsgeschwindigkeit in der Mitte des Kanals von Jubal zur Zeit der Syzygien findet man in den Beobachtungsdaten den Wert von $1^1/_2$ bis 2 Seemeilen pro Stunde angegeben. Nehmen wir als mittlere Geschwindigkeit im ganzen Querschnitt etwa $^2/_3$ davon und bedenken, daß man aus der maximalen Geschwindigkeit die mittlere für die Zeit von einem Niedrigwasser zum nächsten Hochwasser erhält, wenn man ersteren Wert mit $\frac{2}{\pi}$ multipliziert, so ergibt sich als mittlere Geschwindigkeit in der Straße von Jubal nach den Beobachtungen 0·63 bis 0·85 Seemeilen pro Stunde. Unser berechneter Wert von 0·68 Seemeilen pro Stunde fällt gerade innerhalb dieses Intervalls. Die Übereinstimmung mit den Beobachtungstatsachen ist ausgezeichnet.

Die Gezeiten des Golfes von Suez sind demnach zum weitaus größten Teil unselbständige Gezeiten; sie sind auf periodische, aus dem Nordteil des Hauptbeckens des Roten Meeres stammende Impulse zurückzuführen, welche die Wassermassen des Golfes mit der Gezeitenbewegung des äußeren Meeres mitzuschwingen zwingt. Die selbständigen Gezeiten sind nur eine sekundäre Erscheinung, die bloß eine kleine, aber charakteristische Verteilung der Hafenzeiten bedingt.

Ganz anders erfolgt dieses Mitschwingen im Golfe von Akabah. Die kleine Eigenperiode dieses Kanals ließ bereits erwarten, daß es zu keiner Knotenlinie im Innern des Kanals kommen kann, daß also eine gleichzeitige Hebung und Senkung des ganzen Wasserspiegels mit der äußeren Gezeitenbewegung erfolgen muß. Fig. 21 *b*, welche uns die nach der Tabelle 6 *a* gegebene Hubhöhenverteilung längs des ganzen Kanals graphisch wiedergibt, zeigt, daß an der Mündung zunächst eine kleine, aber rasche Zunahme der Hubhöhe erfolgt; dann bleibt sie aber längs des ganzen Kanals nahezu konstant; ist die Hubhöhe an der Mündung 100 *cm*, so erreicht sie bereits am 7. Querschnitt 116 *cm*, während sie am Nordende 119 *cm* aufweist. Die wenigen Beobachtungen, die vorhanden sind, stehen in Übereinstimmung mit diesen Ergebnissen der Theorie; die Hafenzeiten in Dahab und in Akabah sind etwas verspätet; die Beobachtungen ergeben etwa 7^h1 gegen 6^h3 als Hafenzeit der äußeren Gezeitenbewegung. Auch hier könnte vielleicht diese Verspätung eine Folge der Superposition der Mitschwingungsgezeit mit der kleinen selbständigen Gezeitenkomponente sein. Um die Größe der Verspätung, die nahezu eine Stunde betrifft, zu erklären, müßte aber der selbständigen Gezeit eine weit größere Hubhöhe zugeschrieben werden, als ihr theoretisch zukommt; es ist daher hier eher anzunehmen, daß Omeïder die richtige Hafenzeit hat und die beiden anderen Stationen etwas

Fig. 21 *b*.



falsche Zeitangaben aufweisen. Diese kleine Abweichung der theoretischen Ergebnisse von den Beobachtungen hat aber keine Bedeutung; in ihrem Grundwesen sind die Gezeiten des Golfes von Akabah gerade so unselbständige Gezeiten wie jene des Golfes von Suez.

Die außerordentlich verschiedenen orographischen Verhältnisse der zwei Ansätze am Nordende des Roten Meeres bedingen, wie wir sehen, gänzlich verschiedene Gezeitenerscheinungen in ihnen. Es ist ein interessantes Spiel der Natur, daß sie durch die Nebeneinanderstellung dieser zwei mit denselben äußeren Meere in Verbindung stehenden, schmalen Golfe ein lehrreiches Beispiel gegeben hat, welch großen Einfluß die orographischen Verhältnisse eines Beckens auf das Mitschwingen der Wassermassen in ihnen mit der äußeren Gezeitenbewegung besitzt.

4. Die selbständigen Gezeiten des Roten Meeres.

Wir gehen nun zu den Gezeiten des Hauptbeckens über. Die große nord-südliche Erstreckung und die beträchtliche Tiefe dieses Meeres läßt erwarten, daß die selbständigen Gezeiten eine größere Hubhöhe aufweisen werden. Da das Becken gegen die Richtung der Meridiane geneigt ist, und zwar das Südende östlich des Nordendes liegt, wird die Phase der erzeugenden Kraft zwischen 0^h und 9^h liegen. Nach den früheren theoretischen Erörterungen können wir sie genau berechnen; der Neigungswinkel der Längsachse des Roten Meeres gegen die Nord-Südrichtung beträgt $\varepsilon = 29°$. Als mittlere Breite nehmen wir $\varphi = 21°$. Dann ergibt sich aus Gleichungen 32 und 33 des I. Teiles die Phase der Kraft $\psi = 10^h 1$ und für $\beta = 0 \cdot 577$, so daß die störende Kraft die Form

$$\varkappa = 1235 \cdot 0 \cdot 934 \cdot 0 \cdot 577 \cdot 10^{-7}\, g \cos \frac{2\pi}{12}(t - 10 \cdot 1) \text{ hat.}$$

Das Rote Meer ist als ein gegen den Golf von Aden offener Kanal zu betrachten; die selbständige Gezeit wird demnach an der Mündung desselben eine Knotenlinie aufweisen; wir werden sie in den mittleren Teil der Straße von Bab-el-Mandeb anzusetzen haben. Über die zu erwartende Amplitude können wir uns orientieren, wenn wir dieselbe für einen Kanal berechnen, der dieselbe mittlere Tiefe und dieselbe Länge wie das Rote Meer besitzt; für einen solchen Kanal hat am Nordende die selbständige Gezeit eine Hubhöhe $2\eta = -\frac{h\nu\pi\varkappa}{l\sigma^2}$ tag $\nu\pi$. Wählt man

$$h = 476\, m, l = 1950 \cdot 10^3\, m, \text{ und } \nu = 1.4,\ 1 \cdot 45,\ 1 \cdot 47, \text{ so erhält man}$$

$2\eta = -20\, cm$, -41, $-61\, cm$. Mit zunehmenden ν wird also die Amplitude der selbständigen Gezeit rasch größer, und zwar haben wir am Nordende eine Schwingungsphase zu erwarten, die jener der Kraft entgegengesetzt ist. Mit diesen Werten für die Hubhöhe am Nordende des Roten Meeres wurde nun nach der Restmethode die schrittweise Berechnung der Hubhöhen für alle Querschnitte durchgeführt; jene Verteilung entspricht der Hubhöhenverteilung der selbständigen Gezeit des Roten Meeres, für welche an der Mündung die Hubhöhe $2\eta = 0$ resultiert; zur Berechnung wurde folgende numerische Gleichung *(m/*sek.*)* benützt:

$$2\,\Delta\,\eta_0 = 1 \cdot 0283 \cdot 10^{-4} \cdot 2\,\xi + 6 \cdot 660 \cdot 10^{-3}.$$

Für $2\eta = -20\,cm$ am Nordende ergab die schrittweise Berechnung der Hubhöhen $2\eta = 0$ das erstemal beim Querschnitt 15, das zweitemal beim Querschnitt 35. Die Theorie läßt für die eigene Gezeit bei Werten von ν, die größer als 1 sind, stets zwei Knotenlinien erwarten; dies ist auch beim Roten Meer der Fall; für $2\eta = -20\,cm$ am Nordende liegt aber die zweite Knotenlinie nicht an der Mündung. Die Hubhöhenverteilung, die 20 *cm* am Nordende ergibt, entspricht also nicht der Hubhöhenverteilung der selbständigen Gezeit. Auch für $2\eta = -40$ und $-60\,cm$ tritt die Bedingung, daß an der Mündung $2\eta = 0$

ist, nicht ein, wenn man auch derselben für den letzteren Wert ziemlich nahe kommt. Für $2\eta = -70\,cm$ am Nordende steht das Ergebnis der Berechnung in folgender Tabelle 7; für diesen Wert wird die Hubhöhe Null beim Querschnitt 37, also am Südende des eigentlichen Hauptbeckens des Roten Meeres; die Verteilung, die sich aus diesem Ausgangswerte ergibt, wird also der Hubhöhenverteilung der selbständigen Gezeit ziemlich nahe kommen. Tabelle 7 enthält neben diesen auch noch die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen bei jedem Querschnitt. Fig. 22 gibt die Hubhöhenverteilung der selbständigen Gezeitenkomponente graphisch wieder.

Tabelle 7.

Rotes Meer.

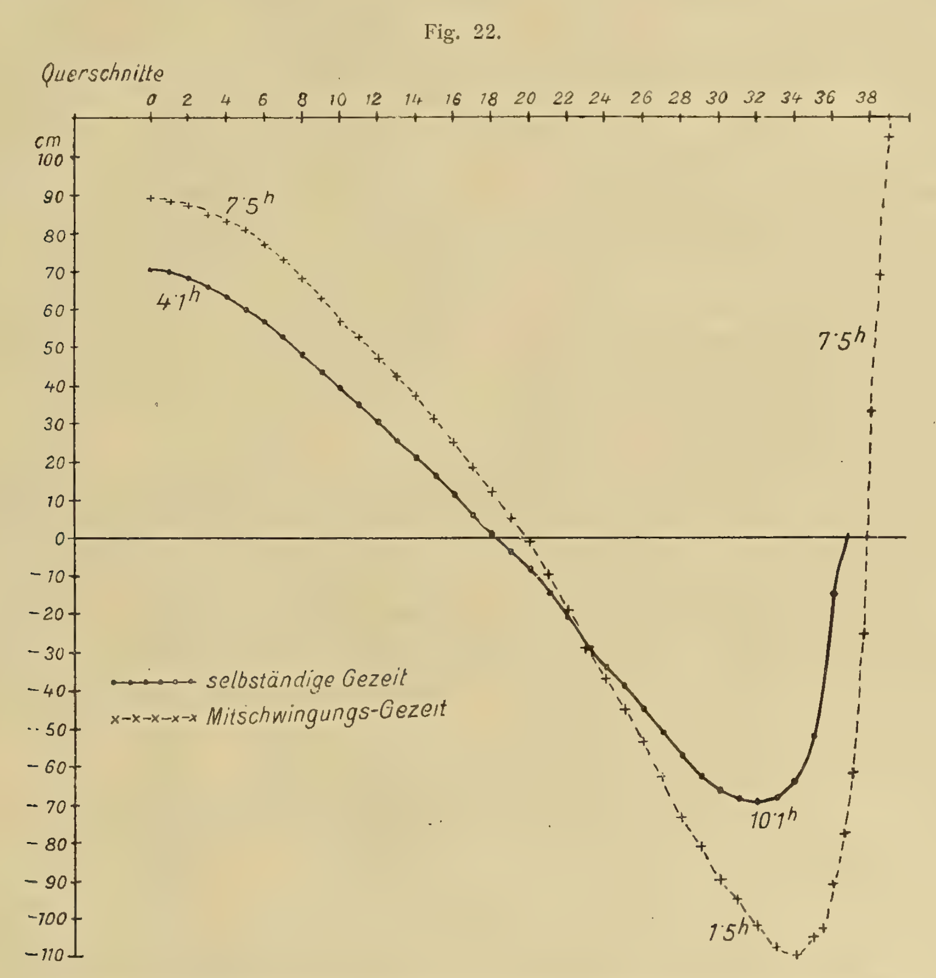
Querschnitt	Selbständige Gezeitenkomponente					Querschnitt	Phase $H = 10^h1$				
	$v(x)=\int_{x_1}^{x_2} b(x)\,dx$ km^2	q km^3	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm		$v(x)$ km^2	q km^3	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm
0	0	0	0	—	−70	21	14471	−74·18	546	+6·28	+14·3
1	6820	−4·77	45	+1·12	−68·9	22	14471	−72·11	610	+6·94	+21·2
2	8217	−10·43	82	+1·51	−67·4	23	14393	−69·06	604	+6·87	+28·1
3	8776	−16·35	117	+1·87	−65·5	24	17349	−64·18	517	+5·98	+34·1
4	9503	−22·57	172	+2·43	−63·4	25	14315	−59·30	502	+5·83	+39·9
5	9727	−28·71	180	+2·52	−60·6	26	14626	−53·46	501	+5·81	+45·7
6	9950	−34·73	256	+3·29	−57·3	27	14393	−46·87	484	+5·64	+51·4
7	9615	−40·34	346	+4·23	−53·0	28	17437	−37·92	561	+6·43	+57·8
8	9559	−45·31	353	+4·30	−48·7	29	16338	−28·47	378	+4·55	+62·4
9	9559	−49·96	400	+4·78	−44·0	30	15093	−19·06	325	+4·01	+66·4
10	9727	−54·24	360	+4·36	−39·6	31	14004	−9·98	164	+2·39	+68·8
11	11460	−58·78	329	+4·05	−35·5	32	12604	−1·31	49	+1·17	+69·9
12	11124	−62·72	431	+5·10	−30·4	33	11048	+6·42	−244	−1·84	+68·1
13	11795	−66·31	370	+4·47	−26·0	34	7624	+11·61	−380	−3·25	+64·8
14	12186	−69·47	327	+4·03	−21·9	35	8091	+16·85	−1187	−11·53	+53·3
15	11404	−71·98	422	+5·01	−16·9	36	6128	+20·12	−3796	−38·37	+14·9
16	10397	−73·74	450	+5·30	−11·6	37	5280	+20·91	−3802	−38·39	(−)
17	10437	−75·07	489	+5·70	−5·9	38	3932	(−24·−)	(−4000)	—	—
18	10736	−75·71	386	+4·64	−1·3	39	2234	—	—	—	—
19	12292	−75·87	432	+5·11	+3·8						
20	13693	−75·34	345	+4·21	+8·0						

Aus der Tabelle und aus der graphischen Darstellung ersieht man, daß die erste Knotenlinie der selbständigen Gezeitenkomponente zwischen dem 18. und 19. Querschnitt eintritt, der Schwingungsast nördlich dieser Knotenlinie, die etwa 920 *km* südlich der Südspitze der Sinaihalbinsel liegt, hat eine Schwingungsphase von 4^h1; der Schwingungsast südlich der Knotenlinie hingegen eine solche von 10^h1. Das Maximum der Hubhöhen tritt im nördlichen Aste am Nordende ein, im südlichen Aste, ziemlich weit südlich, etwa beim Querschnitt 32. Der Abfall von dem Werte an dieser Stelle, der immerhin 70 *cm* beträgt, zum Nullwerte in der Straße von Bab-el-Mandeb ist ziemlich schroff; er ist bedingt durch das rasche Schmäler- und Seichterwerden des Meeres vor dem Eingange in die eigentliche Straße von Bab-el-Mandeb.

Sehen wir uns die Beobachtungstatsachen an, können wir konstatieren, daß wohl nur ein Teil der beobachteten Gezeitenwelle im Roten Meere von den selbständigen Gezeiten der Wassermassen

dieses Beckens herrühren kann, daß ein zweiter Teil anderen Ursprungs sein muß. Da nach den Beobachtungen der Nordteil die Hafenzeit etwa 6^h3 (Zeit des mittleren Meridians) und im nördlichen Teile eine Hubhöhe zwischen 60 und 90 *cm*, der Südteil dagegen die Hafenzeit etwa 0^h9 und beim Querschnitt 30 eine Hubhöhe zwischen 90 und 120 *cm* aufweist, kann nur ein Teil davon durch die selbständige Gezeitenkomponente ihre Erklärung finden. Da keine andere Ursache für die Ausbildung einer anderen Gezeitenkomponente vorhanden ist als das Mitschwingen der nur zum Teil abgeschlossenen Wassermassen des Roten Meeres mit der äußeren Gezeitenbewegung im Golfe von Aden, müssen wir den übrigbleibenden Teil der Gezeitenerscheinung auf eine Schwingung zurückführen, die durch

Fig. 22.



Hubhöhen und Phasenverteilung der einzelnen Gezeitenkomponenten im Roten Meere.

Impulse aus dem Golfe von Aden durch die Straße von Bab-el-Mandeb in den Wassermassen des Roten Meeres angeregt wird.

5. Das Mitschwingen des Roten Meeres mit der Gezeitenbewegung im Golfe von Aden.

Zur Untersuchung des Verhaltens der Wassermassen des Roten Meeres zur äußeren Gezeitenbewegung wollen wir uns der zu diesem Zwecke äußerst praktischen v. Sterneck'schen Methode bedienen (siehe I. Teil, 4. Abschnitt, *C*, p. 34). Zur genauen Ermittlung der Tiefenverhältnisse im südlichsten Teil des Roten Meeres und in der Straße von Bab-el-Mandeb wurden vom 35. Querschnitt an zwischen je zwei aufeinanderfolgende Querschnitte in der Mitte ein weiterer Querschnitt eingeschaltet; die Breite

und Querschnittfläche wurden aus der englischen Admiralitätskarte mit größter Genauigkeit ausgemessen[1]. Die Rechnung wurde am Nordende begonnen, mit der Annahme, daß dort $2\eta = +100\,cm$ beträgt.

Von diesem Werte ausgehend[2] findet man die in der Tabelle 8 mitgeteilte Verteilung für die Hubhöhe längs des Kanals und gleichzeitig auch die angegebenen Werte für die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen in den einzelnen Querschnitten. Die Berechnung erfolgte mit der ersten Annäherung, die für die angestrebte Genauigkeit vollauf genügt.

Die berechnete Hubhöhenverteilung zeigt ein auffallendes Verhalten der Wassermassen im Roten Meere beim Mitschwingen mit der äußeren Gezeitenbewegung: es gibt zwei Knotenlinien in der dadurch entstehenden Welle; die innere Knotenlinie liegt in der Nähe des Querschnittes 20, dort, wo die freie Schwingung und in dessen Nähe auch die erzwungene Schwingung der selbständigen Gezeitenkomponente die Knotenlinie besitzen. Die zweite Knotenlinie liegt zwischen dem Querschnitt 37·5 und 38, also in der Straße von Bab-el-Mandeb, sehr nahe der Mündung derselben ins Rote Meer Bei der Annahme, daß am Nordende $2\eta = +100\,cm$ beträgt, findet man am 39. Querschnitt, d. i. an der Mündung in den Golf von Aden $2\eta = +117\cdot6$. Die halbtägigen Gezeiten haben aber hier eine Hubhöhe von 105 *cm*, wie die Werte der harmonischen Analyse der Flutaufzeichnung zu Perim ergeben haben; multiplizieren wir also alle Werte mit dem Faktor 105 : 117·6, so erhalten wir Übereinstimmung an der Mündung und die so gewonnene Hubhöhenverteilung entspricht jener, die durch das Mitschwingen der Wassermassen mit der äußeren Gezeitenbewegung zur Ausbildung gelangt. Sie steht ebenfalls in Tabelle 8, wobei die Werte auf ganze Zentimeter abgerundet wurden; ihre graphische Darstellung enthält Fig. 22.

Die Phase der Schwingungen zu Perim beträgt 7·5 Mondstunden; von Süden nach Norden fortschreitend, sehen wir, daß die Phase bis zum Querschnitt 38·5 erhalten bleibt, die Amplitude aber rasch auf Null herabgeht, nördlich dieser Knotenlinie ist die Phase der Schwingung um 6 Stunden größer, also 1^h5; die Hubhöhe nimmt rasch zu, erreicht ein Maximum von etwa 110 *cm* am Querschnitt 34; sodann nimmt sie regelmäßig ab, bis zur zweiten Knotenlinie am Querschnitt 20. Die Amplitude des nördlichen Schwingungsastes steigert sich dann wieder regelmäßig bis zum Nordende, wo wieder ein Maximum eintritt; die Phase dieses Teiles ist dieselbe wie im Golfe von Aden, also 7^h5.

---

[1] Die Breite und Querschnittflächen dieser weiteren Querschnitte sind folgende:

Querschnitt Nr.	$b\,(x)$ *km*	$S\,(x)$ *km*²	$v\,(x)$ *km*²	Entfernung vom Nordende *km*
35·—	154·7	14·2	8091	1750
35·5	125·4	11·2	3345	1775
36·—	106·1	5·3	2783	1800
36·5	107·0	5·8	2487	1825
37·—	99·2	5·5	2793	1850
37·5	75·3	2·6	2278	1875
38·—	61·6	1·7	1654	1900
33·5	36·6	2·6	1246	1925
39·—	29·8	2·6	988	1950

[2] Es wäre bei dieser Berechnung genauer gewesen, wenn man am Nordende nicht q und $\xi = 0$ gewählt hätte; denn das Mitschwingen der beiden Ansätze im Norden bedingt einen Transport von Wassermassen durch den letzten Querschnitt der zwei Golfe, der mit dem nullten des Roten Meeres zusammenfällt; wenn aber hier $2\eta = 100\,cm$ sein soll, muß nach Tabellen 6 und 6 *a* am nullten Querschnitt des Hauptbeckens $q = -2\cdot60$ genommen werden. Dieser Wert wäre statt $q = 0$ als Ausgangspunkt zu wählen gewesen. Die Werte erfahren aber dadurch nur eine zu vernachlässigende Änderung.

Tabelle 8.

Rotes Meer.

Mitschwingen mit der äußeren Gezeitenbewegung						Zusammensetzung der 2 Gezeitenkomp.		
Querschnitt	q km^3	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm	Phase $H = 7\cdot5$ (Mondstunden) Hubhöhe der Mitschwingungsgezeit cm	Hubhöhe in cm	Hafenzeit Mondstunden	Hafenzeit Sonnenstunden
0	0	0	—	100·—	89	101	6·1	6·2
1	6·82	— 64	— 0·66	99·3	88	99	6·1	6·2
2	14·98	— 118	— 1·21	98·1	87	98	6·1	6·2
3	23·60	— 168	— 1·73	96·4	85	95	6·1	6·3
4	32·76	— 249	— 2·56	93·8	83	93	6·1	6·3
5	41·88	— 263	— 2·70	91·1	81	91	6·1	6·3
6	50·95	— 375	— 3·86	87·3	77	86	6·2	6·3
7	59·34	— 511	— 5·25	82·0	73	81	6·2	6·3
8	67·18	— 524	— 5·39	76·6	68	75	6·2	6·3
9	74·51	— 597	— 6·14	70·5	63	68	6·2	6·4
10	81·37	— 550	— 5·55	65·0	57	61	6·2	6·4
11	88·81	— 498	— 5·12	59·8	53	56	6·2	6·4
12	95·47	— 656	— 6·74	53·1	47	50	6·3	6·4
13	101·73	— 568	— 5·84	47·2	42	44	6·3	6·5
14	107·49	— 506	— 5·20	42·1	37	39	6·4	6·6
15	113·28	— 665	— 6·84	35·2	31	32	6·5	6·7
16	116·94	— 714	— 7·34	27·9	25	25	6·6	6·8
17	120·13	— 783	— 8·06	19·8	18	18	6·9	7·1
18	122·26	— 624	— 6·41	13·4	12	12	7·3	7·5
19	123·91	— 706	— 7·26	6·1	5	4	9·4	9·6
20	124·75	— 718	— 7·39	— 1·2	— 1	8	10·3	10·6
21	124·57	— 916	— 9·43	— 10·7	— 10	16	11·2	11·5
22	123·02	— 1041	— 10·70	— 21·4	— 19	25	11·7	0·0
23	119·94	— 1048	— 10·78	— 32·2	— 29	40	11·8	0·1
24	114·37	— 922	— 9·48	— 41·6	— 37	55	11·9	0·2
25	108·40	— 914	— 9·40	— 51·0	— 45	59	12·0	0·2
26	100·94	— 945	— 9·72	— 60·8	— 54	63	12·0	0·3
27	92·19	— 952	— 9·79	— 70·6	— 63	72	12·0	0·3
28	79·89	— 1182	— 12·25	— 82·8	— 74	83	12·1	0·4
29	66·36	— 880	— 9·05	— 91·8	— 81	90	12·1	0·4
30	52·50	— 896	— 9·21	—101·1	— 90	100	12·2	0·5
31	38·35	— 645	— 6·63	—107·7	— 95	105	12·2	0·5
32	25·08	— 939	— 9·66	—117·4	— 102	111	12·2	0·5
33	12·12	— 461	— 4·74	—122·1	— 108	116	12·3	0·6
34	2·81	— 92	— 0·95	—123·0	— 110	116	12·5	0·8
35	— 7·14	+ 503	+ 5·17	—117·9	— 105	107	12·6	0·9
35·5	—11·08	+ 352	+ 1·81	—116·1	— 103	100	12·9	1·1
36	—14·32	+ 2702	+ 13·89	—102·2	— 91	88	1·2	1·2
36·5	—16·86	+ 2907	+ 14·95	— 87·2	— 78	78	1·4	1·5
37	—19·29	+ 3508	+ 18·04	— 69·2	— 62	62	1·5	1·6
37·5	—20·87	+ 8027	+ 41·27	— 27·9	— 25	25	1·5	1·6
38	—21·33	+ 12547	+ 64·51	+ 36·6	+ 33	33	7·5	7·7
38·5	—20·87	+ 8027	+ 41·27	+ 77·9	+ 69	69	7·5	7·7
39	—20·11	+ 7733	+ 39·76	+117·6	+ 105	105	7·5	7·7

Beide Gezeitenkomponenten, die selbständige Gezeit und die Mitschwingungsgezeit, superponieren sich und ergeben dadurch die theoretische Gezeitenschwingung des Roten Meeres.

Für jeden Querschnitt wurde die Hafenzeit und die Hubhöhe der zusammengesetzten Schwingung berechnet; das Ergebnis steht für jeden Querschnitt in den letzten Kolonnen der Tabelle 8. Die Hafenzeiten wurden schließlich auf gewöhnliche Zeit durch Multiplikation durch $12 \cdot 3 : 12 = 1 \cdot 025\, mm$ umgerechnet.

Die Amplitude der zusammengesetzten Schwingung ist etwas größer als die Amplitude der Mitschwingungsgezeit; die Ursache dieser auffallenden Erscheinung liegt darin, daß die zwei Wellen, die sich superponieren, Phasenzeiten besitzen, die sich etwa ein Viertel der Periode der beiden Schwingungen unterscheiden. Die Zusammensetzung ist mehr von Einfluß auf die Phase der resultierenden Welle, weniger auf die Amplitude derselben, die sich mehr nach der größeren Teilschwingung richtet. So sehen wir, daß die Hafenzeit im nördlichsten Teile des Roten Meeres etwa 6^h2 beträgt, mit Vorrücken gegen Süden wird sie etwas größer; beim 10. Querschnitt ist sie etwa 6^h4, beim Querschnitt 18 bereits 7^h5. In der Nähe der Knotenlinien der beiden Teilschwingungen, die nicht auf denselben Querschnitt fallen, ändert sich die Phase der resultierenden Schwingung natürlich sehr rasch, indem sie von 7^h5 auf 12^h innerhalb dreier Querschnitte übergeht. Dann sind die Änderungen wieder etwas geringer, doch ist eine deutliche Zunahme der Hafenzeit von 0^h2 am 24. Querschnitt bis 0^h9 am 35. Querschnitt vorhanden; die Hafenzeit steigert sich dann weiter bis auf 1^h6, da die Amplitude der selbständigen Gezeit am Südende des Roten Meeres rasch auf Null herabgehen muß. Zwischen den Querschnitten 37·5 und 38 erfolgt dann infolge der Knotenlinie der Mitschwingungsgezeit ein Sprung in der Hafenzeit um 6 Stunden.

Der größte Teil des Roten Meeres nördlich der uneigentlichen Knotenlinie, die zwischen den Querschnitten 19 und 20 zu liegen kommt, hat demnach eine Hafenzeit 6^h3 (mittlere Zeit); gegen die Knotenlinie zu verspätet sich das Hochwasser etwas. Südlich der Knotenlinie schwankt die Hafenzeit zwischen 0^h3 und 0^h8; sie verspätet sich immer mehr, je weiter man gegen Süden vorrückt. In der Straße von Bab-el-Mandeb hat der nördliche Teil eine Hafenzeit 1^h5, der südliche eine Hafenzeit 7^h7, die mit der Hafenzeit des inneren Teiles des Golfes von Aden übereinstimmt.

Sowohl aus dieser Verteilung der Hafenzeiten, aber auch aus der Verteilung der Hubhöhen, ersehen wir, wenn wir die Werte mit den in Fig. 18 eingetragenen Daten vergleichen, daß eine sehr befriedigende Übereinstimmung mit den Beobachtungstatsachen vorhanden ist.

Wir können also schon jetzt konstatieren, daß die Gezeiten des Roten Meeres nichts anderes enthalten, als einerseits die unter der Einwirkung der Anziehungskräfte von Sonne und Mond zur Entwicklung gelangende selbständige Gezeitenschwingung, andererseits die Schwingung, die durch das Mitschwingen der Wassermassen des Roten Meeres mit der Gezeitenbewegung des Golfes von Aden entsteht. Die Bemerkung Krümmels, daß die Gezeiten des Roten Meeres wohl nur einen ganz selbständigen Charakter besitzen und daß nur wenig Gezeitenenergie von Indischen Ozean durch die enge Straße von Bab-el-Mandeb an die Wassermassen des Roten Meeres abgegeben werden kann, bewahrheitet sich also betreffs des zweiten Teiles nicht. Die Straße von Bab-el-Mandeb ist, so eng sie auch ist, breit genug, um ein volles Mitschwingen der inneren Wassermassen des Roten Meeres mit der äußeren Gezeitenbewegung zu vermitteln. Die kräftigen Gezeitenströmungen, die hier zur Entwicklung gelangen, ergeben die nötigen Impulse zum Mitschwingen der nur zum Teil abgeschlossenen großen Wassermassen des Roten Meeres. Aus den Tabellen 7 und 8 können wir entnehmen, daß im südlichen Teile der Straße von Bab-el-Mandeb, wie die Beobachtungen es verlangen, der Flutstrom gegen Nordwesten, der Ebbestrom gegen Südosten hin gerichtet ist, und daß durch beide Wellen in 6 Mondstunden etwa die Wassermasse von rund $45\, km^3$ durch die Straße von Bab-el-Mandeb hindurch geschoben wird, um die Gezeiten im Roten Meere hervorzurufen. Nach den Beobachtungen beträgt die maximale Strömungsgeschwindigkeit in der Straße von Bab-el-Mandeb etwa 4 Seemeilen pro Stunde. Die mittlere Geschwindigkeit während der Zeit von Niedrigwasser bis Hochwasser erhält man, wenn man die

maximale Geschwindigkeit mit $\frac{2}{\pi}$ multipliziert; die mittlere Strömungsgeschwindigkeit wird also zur Zeit von Voll- und Neumond rund 2·55 Seemeilen pro Stunde oder 4·1 *km* pro Stunde betragen. Durch die engste Stelle der Straße, die einen Querschnitt von 1·7 km^2 besitzt, werden bei dieser Geschwindigkeit in 6 Mondstunden die Wassermenge $6 \cdot 15.1 \cdot 7.4 \cdot 1\ km^3 = 43\ km^3$ hindurchgeschoben; sie stimmt nahezu völlig überein mit der aus der Theorie der Gezeiten des Roten Meeres abgeleiteten Menge. Es ist sicherlich eine gute Stütze für die dargelegte hydrodynamische Theorie der Gezeiten des Roten Meeres, daß die daraus abgeleiteten Strömungsverhältnisse in der Straße von Bab-el-Mandeb sowohl was Geschwindigkeit als auch was Richtung betrifft, mit den beobachteten in ausgezeichneter Übereinstimmung stehen.

Im folgenden Abschnitte wollen wir noch den Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die Gezeiten des Roten Meeres in Rechnung ziehen.

6. Der Einfluß der Erdrotation auf die Längsschwingungen und die theoretischen Gezeiten des Roten Meeres.

Durch die Einwirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen sowohl der selbständigen Gezeitenwelle als auch auf jene der Mitschwingungsgezeit entstehen Querschwingungen, deren Amplitude und Phase wir nach den Darlegungen im I. Teil, 6. Abschnitt berechnen können. Das ist im folgenden geschehen. Da das Rote Meer nur eine geringe Quererstreckung besitzt, wollen wir von der Berechnung der Amplitudenverteilung dieser durch die Erdrotation bedingten Querschwingungen absehen und nur die Größe der Hubhöhe an der Ost- und Westküste ermitteln, und zwar unter der Voraussetzung, daß jeder durch zwei Querschnitte begrenzte Seeabschnitt die Form eines rechteckigen Kanals von der mittleren Tiefe des betreffenden Querschnittes besitzt. Diese Annäherung ist für den nördlichen Teil des Meeres, wo die Küsten überaus steil zum Beckenboden abfallen, eine sehr gute; weniger gut dürfte sie im südlichen Teile sein, wo die ausgebreiteten Schelfe auf beiden Seiten der schmalen mittleren Kanalrinne eine sehr unregelmäßige bathymetrische Kurve für den Querschnitt bedingen; wir wollen aber auch hier uns mit dieser Näherung begnügen.

Unter dieser Annahme ist die Hubhöhe an der Ost-, beziehungsweise Westküste gegeben durch die Formel

$$2\eta = \frac{4\,\omega\, b\,\sin\varphi}{Tg\nu}\,\text{tang}\,\nu\,\frac{\pi}{2}\cdot 2\,\xi_0,$$

worin ν das Verhältnis der Periode der freien Querschwingung zur Periode der betrachteten Längsschwingung ist.

Die Phase der Querschwingung ist gegeben durch das Vorzeichen von ξ; so hat die Ostküste nördlich des Maximums des südlichen Schwingungsastes, das bei der selbständigen Gezeit auf den 32., bei der Mitschwingungsgezeit auf den 34. Querschnitt fällt, eine Hafenzeit $H + 3^h$, die Westküste hingegen $H - 3^h$, wenn H die Hafenzeit des südlichen Schwingungsastes ist. Bei der Mitschwingungsgezeit liegt eine Knotenlinie auch in der Straße von Bab-el-Mandeb in der Nähe des Querschnittes 37·5; in diesem Teil des Roten Meeres, südlich des Maximums der Hubhöhe, das beim 34. Querschnitt eintritt, hat die Ostküste die Hafenzeit 10^h5, die Westküste 4^h5. In folgender Tabelle 9 sind die Hauptwerte zur Berechnung der Amplituden der Querschwingungen übersichtlich zusammengestellt. Die 6. Kolonne gibt die Hubhöhe der aus beiden Teilschwingungen zusammengesetzten Querschwingung für jeden Querschnitt; die 7. und 8. Kolonne die entsprechenden Hafenzeiten dieser Querschwingung für die Ost- und Westküste.

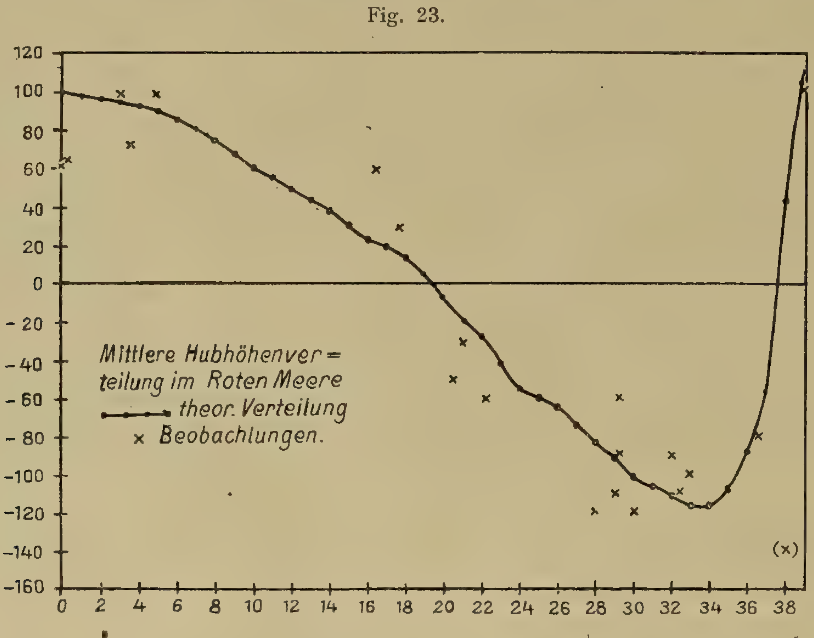
Die Hubhöhe der Querschwingungen ist im ganzen nördlichen Teil des Roten Meeres sehr klein; sie übersteigt bis zum 19. Querschnitt nur an wenigen Stellen 7 *cm*; südlich des 19. Querschnittes wird sie etwas größer und erreicht bei den Querschnitten 26 bis 29 den Wert von rund 12 *cm*. Dann

nimmt die Amplitude wieder ab, um dann in der Straße von Bab-el-Mandeb, wo die horizontalen Verlagerungen der Wasserteilchen sehr groß sind, wieder größere Beträge anzunehmen. Den Querschwingungen kommt infolge der kleinen Amplitude keine wesentliche Bedeutung zu, außer im Bereiche der Knotenlinien, d. i. zwischen den Querschnitten 18 und 23, und dann in der Straße von Bab-el-Mandeb, wo die Hubhöhen der Längsschwingung auch relativ klein sind. In beiden Fällen bedingt die Zusammensetzung der Längs- und der Querschwingung die Ausbildung einer entgegen dem Sinne des Uhrzeigers verlaufenden Amphidromie, die sich in den Hafenzeiten der Küstenorte in diesem Bereiche geltend machen muß.

Die Superposition der Längsschwingung und der Querschwingung ergibt schließlich die theoretischen Gezeiten des Roten Meeres; das Ergebnis dieser Zusammensetzung steht in den letzten Kolonnen der Tabelle 9.

Die Hubhöhenverteilung der Längsschwingung wird durch die Querschwingungen nicht wesentlich modifiziert, hingegen erleidet die Hafenzeit immerhin deutliche Verschiebungen. Nördlich des 14. Querschnittes wird die Hafenzeit der Ostküste durch die Querschwingung etwas verspätet, jene

Fig. 23.



der Westküste hingegen etwas verfrüht; südlich des 25. Querschnittes bis etwa zum Querschnitt 32, ist das Umgekehrte der Fall; doch beträgt in beiden Fällen der Unterschied zwischen Ost- und Westküste kaum eine halbe Stunde.

Zwischen diesen zwei Gebieten liegt eine Amphidromie, die sich durch die Hafenzeiten der Querschnitte deutlich wiedergibt. Die Amphidromie der südlichen Knotenlinie in der Straße von Bab-el-Mandeb ist auf einen so kleinen Bereich beschränkt, daß sie bei unserer Querschnittseinteilung nur undeutlich hervortreten kann. Daß sie tatsächlich vorhanden ist, ist kaum zu zweifeln.

Fig. 23 gibt die mittlere theoretische Hubhöhenverteilung längs des ganzen Roten Meeres; die kleinen Kreuze geben die an den betreffenden Küstenpunkten beobachteten Hubhöhen. Die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung ist vollauf befriedigend. Die etwas größeren Amplituden an einzelnen Stellen im südlichen Aste der Schwingung rühren von Stationen auf den Inseln der Schelfe oder an den überaus flachen Küsten her. Daß hier eine Vergrößerung der Amplitude, besonders der Querschwingung zu erwarten ist, ist von vornherein zu erwarten; bei Anbringung einer entsprechenden Korrektur wäre die Übereinstimmung noch günstiger ausgefallen.

Da eine solche immer etwas Willkürliches enthält, wurde davon abgesehen. Die große Amplitude der Gezeit im Mokhá fällt etwas stark aus der theoretischen Kurve heraus; wie wir noch hören werden, dürfte dies seinen Grund darin haben, daß im südlichsten Teile des Roten Meeres die eintägige

Tabelle 9.

Querschwingungen im Roten Meere unter Einfluß der Erdrotation.

Querschnitt	$\nu=\frac{T_f}{12\cdot 3}$	$\frac{4\,\omega b \sin\varphi}{\text{tag}\,\nu} \times \text{tg}\,\nu\frac{\pi}{2}$ $10^{-5}m$	2ξ vom Mitschwingen m	2ξ von der selbständigen Gezeit m	Querschwingungen			Theoretische Gezeiten des Roten Meeres			
					Hubhöhe cm	Hafenzeit in Mondstunden		Ostküste		Westküste	
						Ostküste	Westküste	Hubhöhe cm	Hafenzeit (Sonnenzeit)	Hubhöhe cm	Hafenzeit (Sonnenzeit)
0	0·10	4·1	0	0	0·–	3·3	9·3	101	6^h3	101	6^h3
1	0·10	8·8	— 57	— 45	0·7	3·3	9·3	99	6·3	99	6·3
2	0·10	9·6	— 106	— 82	1·4	3·3	9·3	98	6·3	98	6·3
3	0·10	9·5	— 142	— 117	1·9	3·3	9·3	95	6·2	96	6·4
4	0·11	9·8	— 224	— 172	2·9	3·4	9·4	93	6·2	96	6·4
5	0·10	9·6	— 235	— 180	3·1	3·4	9·4	92	6·2	93	6·4
6	0·12	9·8	— 335	— 256	4·5	3·4	9·4	87	6·2	88	6·4
7	0·13	10·0	— 456	— 346	6·4	3·4	9·4	82	6·2	81	6·5
8	0·13	10·0	— 468	— 353	6·7	3·4	9·4	76	6·2	77	6·5
9	0·12	9·1	— 533	— 400	6·5	3·4	9·4	69	6·1	69	6·5
10	0·14	9·1	— 492	— 360	6·2	3·4	9·4	62	6·1	61	6·6
11	0·15	11·4	— 446	— 329	6·6	3·4	9·4	57	6·1	56	6·6
12	0·15	10·3	— 586	— 431	7·5	3·6	9·6	51	6·1	50	6·7
13	0·13	10·1	— 509	— 370	6·5	3·5	9·5	45	6·2	44	6·7
14	0·12	10·4	— 453	— 327	6·4	3·4	9·4	39	6·2	40	6·9
15	0·13	9·9	— 595	— 422	7·4	3·4	9·4	32	6·1	33	7·1
16	0·10	7·9	— 639	— 450	6·6	3·4	9·4	25	6·2	25	7·3
17	0·12	9·1	— 700	— 489	7·8	3·3	9·3	17	6·2	22	7·8
18	0.12	9·2	— 558	— 386	6·5	3·5	9·5	11	6·4	16	8·2
19	0·16	10·1	— 632	— 432	7·5	3·6	9·6	5	3·8	12	9·7
20	0·18	11·8	— 642	— 345	9·3	3·6	9·6	3	1·7	17	10·2
21	0·21	9·3	— 818	— 546	10·0	3·5	9·5	12	0·6	24	10·9
22	0·21	10·6	— 931	— 610	12·6	3·5	9·5	23	0·7	32	11·3
23	0·22	10·9	— 938	— 604	13·2	3·5	9·5	37	0·5	46	11·6
24	0·20	10·1	— 825	— 517	10·9	3·5	9·5	53	0·5	59	11·9
25	0·19	9·8	— 819	— 502	10·4	3·6	9·6	57	0·5	63	0·0
26	0·23	10·4	— 845	— 501	11·1	3·6	9·6	61	0·5	65	0·0
27	0·25	10·7	— 851	— 484	11·4	3·5	9·5	70	0·6	76	0·0
28	0·38	12·8	— 1060	— 561	16·6	3·7	9·7	79	0·7	89	0·1
29	0·36	12·4	— 788	— 378	11·7	3·7	9·7	87	0·5	94	0·3
30	0·35	10·8	— 801	— 325	9·9	3·8	9·8	97	0·5	104	0·5
31	0·33	10·1	— 578	— 164	6·4	4·0	10·0	101	0·6	108	0·4
32	0·36	8·3	— 840	— 49	7·0	4·4	10·4	106	0·6	115	0·4
33	0·24	5·5	— 413	+ 244	0·5	5·1	11·1	116	0·6	116	0·9
34	0·19	4·7	— 82	+ 380	1·7	7·2	1·2	116	0·7	116	0·8
35	0·23	4·2	+ 451	+ 1187	5·7	8·5	2·5	104	0·7	110	0·8
36	0·22	2·8	+ 2710	+ 3796	14·6	8·6	2·6	78	1·0	99	1·4
37	0·19	2·5	+ 3140	+ 3802	13·8	9·4	3·4	55	1·1	57	1·8
38	0·17	1·5	+11210	(+ 4000)	18·9	9·9	3·9	43	8·5	32	6·3
39	0·05	0·7	+ 6920	—	4·8	10·5	4·5	106	7·8	105	7·7

Gezeit noch Amplituden aufweist, welche die halbtägigen Gezeiten wesentlich beeinflussen. Die tägliche Ungleichheit läßt dann eine Ermittlung der Hubhöhe der Halbtagsgezeiten schwer zu.

Auch die Hafenzeiten zeigen eine sehr befriedigende Übereinstimmung, wie man sich durch Vergleich der Werte der Tabelle 9 mit jenen in der Karte (Fig. 18) überzeugen kann. Die Beobachtungen ergeben auf den ausgedehnten Schelfen von Dahalak eine etwas größere Hafenzeit als die Theorie; auch dies ist wohl eine Folge des seichten Meeres an dieser Stelle; die Amplitude wird dadurch etwas vergrößert, das Maximum der Hubhöhe verspätet sich; das ist auch das, was man beobachtet. Die Amphidromie ist in den Beobachtungen durch eine Station angedeutet. Mohammed Gul hat eine Hafenzeit 7^h7, nach der Theorie hingegen eine solche von etwa 7^h8; die Übereinstimmung könnte nicht besser sein; leider ist von Liht und Jidda die Hafenzeit nicht bekannt, auch diese Häfen werden zum Teil im Bereich der Amphidromie fallen.

Auch im Bereiche der südlichen Amphidromie, am nördlichen Eingang in die Straße von Bab-el-Mandeb, haben wir eine Station; Mokhá hat nach den Beobachtungen eine Hafenzeit von 11^h7. Nach der Theorie folgt für den Querschnitt 37^h5 eine Hafenzeit 12^h; da Mokhá etwa südlich davon liegt, ist seine theoretische Hafenzeit etwas weniger als 12^h, also etwa 11^h8. Es ist eine sehr gute Stütze für die Theorie, daß sie ohne Schwierigkeit diese Hafenzeit zu erklären vermag; die früheren Erklärungsversuche wußten meistens nicht, was damit anzufangen; da Perim 7^h7 und die Hanisch-Inseln 0^h7 haben, war die Annahme einer fortschreitenden Welle, die von Süden durch die Straße von Bab-el-Mandeb vordringt, noch am plausibelsten; nördlich der Hanisch-Inseln ist aber von einer fortschreitenden Welle nichts mehr zu sehen; die hydrodynamische Theorie der Gezeiten gibt mit der Erklärung der Hafenzeiten des ganzen Roten Meeres auch die Erklärung für die etwas auffallende Hafenzeit von Mokhá.

Aus allem ergibt sich der Schluß, daß die hydrodynamische Theorie der Gezeiten des Roten Meeres die Beobachtungen in völlig befriedigender Weise erklärt. Die Gezeiten des Roten Meeres beruhen etwa zur Hälfte auf einer durch die periodischen Anziehungskräfte von Sonne und Mond hervorgerufenen selbständigen Gezeitenschwingung, zur anderen Hälfte auf einer Resonanzschwingung, die durch die Gezeitenbewegung im Golfe von Aden in den nur zum Teil abgeschlossenen Wassermassen des Roten Meeres angeregt wird.

7. Die eintägigen Gezeiten im Roten Meere.

Zum Schlusse wollen wir uns noch mit den eintägigen Gezeiten des Roten Meeres befassen. Wie wir der kleinen Tabelle 2 auf p. 57 entnehmen können, sind die eintägigen Gezeiten im Golfe von Aden gut ausgebildet, derart daß der Gezeitenindex zu Aden und Dijbouti bereits dem gemischten Typus angehört; er erreicht hier die Werte 0·86 und 0·80. Es wäre demnach zu erwarten, daß auch im Roten Meere die eintägigen Gezeiten, angeregt durch jene im Golfe von Aden, zur Ausbildung gelangen. Im Roten Meere ist keine Station vorhanden, von der wir die Konstanten der harmonischen Analyse kennen. Wir können deshalb aus den Beobachtungen nicht entscheiden, inwieweit die eintägigen Gezeitenschwingungen des äußeren Meeres sich auf die Wassermassen des Roten Meeres übertragen.

Erst von Port Suez am Nordende des gleichnamigen Golfes sind die Amplituden der einzelnen Partialschwingungen bekannt und hier herrschen extreme Halbtagsgezeiten; der Index beträgt bloß 0·09! Ergibt sich diese auffallende Erscheinung auch aus der hydrodynamischen Theorie?

Wir können diese Frage beantworten, wenn wir ermitteln, wie das Rote Meer samt seinen zwei Ansätzen im Norden sich zu einer eintägigen Schwingungsperiode verhält. Als Periode der eintägigen Gezeitenbewegung wurde die Periode von K_1 d. i. 23·93 Stunden gewählt. Die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen, infolge des Mitschwingens der zum Teil abgeschlossenen

Wassermassen mit der äußeren eintägigen Gezeitenbewegung stehen für eine Anzahl von Querschnitten in folgender Tabelle 10, die ein Auszug einer entsprechend ausführlichen Tabelle ist.

Tabelle 10.

Rotes Meer.

Eintägige Zeit.

	Querschnitt Nr.	q km^3	2ξ m	2η cm
Golf von Suez	0	0	0	10·0
	5	0·33	— 140	9·1
	10	0·64	— 539	5·6
Rotes Meer	0	0·90	— 77	4·5
	5	2·82	— 18	4·3
	10	4·83	— 32	3·9
	15	7·00	— 33	3·4
	20	8·85	— 51	2·8
	25	10·63	— 90	1·7
	30	11·42	— 195	— 0·3
	35	10·50	— 739	— 6·1
	37	9·56	— 1739	— 15·3
	38	8·96	— 527	— 29·6
	39	8·30	— 319	— 38·3
Golf von Akabah . . .	0		0	4·7
	9		— 1477	4·5

Die Hubhöhen dieser Tabellen gelten unter der Voraussetzung, daß am Nordende des Golfes von Suez die Hubhöhe 10 *cm* beträgt. Dieser Wert wurde deshalb gewählt, weil in Port Suez sich die Hubhöhe der Partialtide K_1 gerade auf 10 *cm* beläuft. Wir sehen zunächst, daß die eintägige Gezeitenbewegung, die durch die äußere Gezeitenbewegung angeregt wird, eine Knotenlinie beim Querschnitt 30 aufweist, gerade dort, wo die Hubhöhe der halbtägigen Gezeitenwelle, die durch das Mitschwingen mit der äußeren halbtägigen Gezeitenbewegung hervorgerufen wird, ein Maximum besitzt. Im nördlichen Aste der Schwingung sind die Hubhöhen sehr klein; am Nordende des Roten Meeres erreichen sie noch nicht 5 *cm*; im Golf von Suez steigen sie bis auf 10 *cm* am Nordende. Im südlichen Aste der Schwingung nimmt hingegen die Hubhöhe der Eintagswelle rasch zu, besonders in der Straße von Bab-el-Mandeb, wo sie am 39. Querschnitt den Wert von 38 *cm* erreicht. Die Wassermassen des Golfes von Akabah verhalten sich gegenüber einer eintägigen Schwingung völlig passiv.

Die Wassermassen des Roten Meeres reagieren also nur in geringer Weise auf die äußere eintägige Gezeitenkomponente, die, wie die Beobachtungen zeigen, im Golfe von Aden ziemlich bedeutend ist. Wir können abschätzen, wie groß die Hubhöhe der eintägigen Gezeitenkomponente zu Perim ist, denn auf diesen Wert kommt es an. Die Hubhöhe der ganzen Gezeit beträgt in Perim 150 *cm*; die Hubhöhe der halbtägigen Komponente ist nach Tabelle 9 106 *cm*; der Anteil der ganztägigen Gezeit ist also höchstens 44 *cm*. Von Port Suez ausgehend, fanden wir nach Tabelle 10 für die Mündung in den Golf von Aden die Hubhöhe der eintägigen Gezeit zu 38 *cm*; die Übereinstimmung der beiden Werte ist befriedigend. Sie zeigt, daß die ganztägigen Gezeiten des Roten Meeres wieder nichts anderes als Mitschwingungsgezeiten mit der äußeren eintägigen Gezeitenkomponente sind.

Für Port Suez folgt aus der hydrodynamischen Theorie der Halbtagsgezeiten die Amplitude M_2+S_2 zu 83 *cm*. Aus dem Mitschwingen mit der äußeren eintägigen Gezeitenbewegung finden wir $K_1+O_1 = 5\,cm$; aus theoretischen Überlegungen folgt für die Gezeiten in Port Suez ein Index 0·06; die Beobachtungen ergeben 0·09. Für Perim ergab unsere Annahme für K_1+O_1 etwa 20 *cm*, M_2+S_2 ist hier 53 *cm*; der Index ist also 0·4 gegen 0·8 zu Aden und Dijbouti; die Eintagsgezeit scheint demnach in Perim an Amplitude bereits etwas abzuflauen.

Die Phase der Eintagsgezeit ist im Golfe von Aden nach den Beobachtungen (siehe Tabelle 2) etwa 34°; nach der Theorie hat der innere Teil des Roten Meeres bei der Eintagsgezeit Hochwasser, wenn im Golf von Aden Niedrigwasser herrscht. Die theoretische Phase der Eintagsgezeit im Golfe von Suez muß also $34° + 180° = 214°$ betragen; die Beobachtungen in Port Suez ergeben im Mittel der Kappazahlen von K_1 und O_1 den Wert 203°.

Aus allem ersehen wir, daß die eintägigen Gezeiten im Roten Meere sowie im Golfe von Suez durch das Mitschwingen ihrer Wassermassen mit der kräftigen eintägigen Partialtide im Golfe von Aden bedingt sind. Doch lassen es die orographischen Verhältnisse der Becken nicht zu, daß es zu einer Schwingung größerer Amplitude kommt. Die eintägigen Gezeiten bleiben auf diese Weise im Roten Meere eine sekundäre Erscheinung. Nur dort, wo die Halbtagsgezeiten klein sind, das ist in der Nähe der Knotenlinie derselben, können auch die Eintagsgezeiten zur direkten, augenscheinlichen Beobachtung gelangen. Es ist deshalb verständlich, wenn die Gezeitentafeln mitteilen, daß bei Suakin und Lanakin im Sommer nur eintägige Gezeiten vorhanden sind. Diese beiden Orte liegen in unmittelbarer Nähe der Knotenlinie der Halbtagsgezeit. Im Sommer, in welchem in dieser Breite die Sonne sehr hoch steht, werden die durch die Sonne bedingten selbständigen Gezeiten völlig zurücktreten, da, wie wir aus der Theorie wissen, in einem Kanal nord-südlicher Erstreckung die selbständigen Gezeiten verschwinden, wenn der Kanal direkt unter dem störenden Gestirn zu liegen kommt. Auch die selbständigen Mondgezeiten können, wenn der Mond eine kleine Zenithdistanz aufweist, sehr klein ausfallen. Für Orte in der Nähe der Knotenlinie wie für Suakin und Lanakin, tritt dann nur die Eintagsgezeit hervor; sie wird zum Hauptphänomen.

In Mokhá hat die Eintagsgezeit noch eine Hubhöhe von etwa 30 *cm*; die allgemeine Hubhöhe der Gezeiten wird also hier noch sehr kräftig von der Hubhöhe der eintägigen Gezeiten beeinflußt; wir hatten früher gesehen, daß sich die Hubhöhe von Mokhá nicht gut in die ermittelte theoretische Hubhöhenverteilung der Halbtagsgezeit einfügt. Ziehen wir vom angegebenen Werte von 140 *cm* etwa 30 *cm* ab, die der Hubhöhe der Eintagsgezeit entsprechen, so erhält man als Hubhöhe der halbtägigen Wellen etwa 110 *cm*; dieser Wert, wenn er noch immer etwas zu groß, paßt schon wesentlich besser zur theoretischen Hubhöhenverteilung der Fig. 23. Die Eintagsgezeit erklärt also in befriedigender Weise die etwas große Hubhöhe von Mokhá.

8. Zusammenfassung.

Die hydrodynamische Theorie der Gezeiten des Roten Meeres erklärt in einwandfreier Weise alle Beobachtungstatsachen, die sich aus der Hafenzeit und Hubhöhe der zahlreichen Küstenorte ergeben. Die halbtägigen Gezeiten rühren zum Teil von einer selbständigen Gezeit des Hauptbeckens her zum Teil vom Mitschwingen der Wassermassen desselben mit der Gezeitenbewegung im Golfe von Aden. Zur Zeit der Syzygien sind diese beiden Partialtiden der Amplitude nach ziemlich gleichwertig; doch zeigen sie gegenseitig einen Phasenunterschied von etwa 3 Stunden.

Daß das Rote Meer eine selbständige Gezeitenschwingung mit verhältnismäßig großer Hubhöhe besitzt, verdankt es dem Umstande, daß dem ganzen Becken zusammen mit der Straße von Bab-el-Mandeb eine Eigenperiode zukommt, welche ungefähr das Einundeinhalbfache der Periode der Anziehungskräfte von Sonne und Mond beträgt. Die Mitschwingungsgezeit entspricht völlig jener, die durch die äußere Gezeitenbewegung bedingt ist; die ganze verfügbare Gezeitenenergie im Golfe von Aden wird bei der Mündung des Roten Meeres durch die Straße von Bab-el-Mandeb den inneren Wassermassen übertragen.

Die Superposition der nicht phasengleichen Schwingungen gibt eine auffallende Verteilung der Hafenzeiten im Roten Meere, die wir in den Beobachtungen auch wiederfinden. Die uneigentliche Knotenlinie der Halbtagsgezeiten liegt auf der Linie nördlich Suakin—Lith. Der Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation läßt hier eine entgegen dem Uhrzeigersinne verlaufende Amphidromie entstehen,

die sich aber auf die mittleren Teile des Roten Meeres beschränkt. In den Beobachtungen ist sie durch die Hafenzeit von Mohammed Gul angedeutet. Auch im Süden, im nördlichen Teile der Straße von Bab-el-Mandeb, entwickelt sich an der zweiten Knotenlinie der Mitschwingungsgezeit eine Amphidromie, deren Bereich außerordentlich klein ist. Mokhá gehört zu ihr und die Hafenzeit dieses Hafens erfährt durch sie eine gute Erklärung.

Während der Golf von Akabah infolge seiner orographischen Verhältnisse gegenüber der äußeren Gezeitenbewegung sich nahezu ganz passiv verhält, kommt es im seichten Golf von Suez zur Ausbildung einer stehenden Schwingung mit einer Knotenlinie nördlich der Torbänke. Der nördliche Ast derselben zeigt eine kräftige Zunahme der Hubhöhen gegen das besonders seichte Nordende. Die selbständigen Gezeiten der beiden Ansätze im Norden sind bloß sekundäre Erscheinungen.

Die eintägigen Gezeiten des Roten Meeres rühren ebenfalls vom Mitschwingen der Wassermassen desselben mit der kräftigen, eintägigen Gezeitenbewegung im Golfe von Aden her. Die orographischen Verhältnisse lassen aber in den mittleren und nördlichen Teilen des Hauptbeckens und im Golfe von Suez nur kleine Amplituden der Eintagswelle zu, derart daß der dem gemischten Typus der Gezeiten entsprechende Index im Golf von Aden im Roten Meere und im Golf von Suez auf einem extremen Halbtagsgezeiten angehörigen Index herabsinkt.

Abgesehen von einer ziemlich bedeutenden selbständigen Halbtagsgezeit sind also die Gezeiten des Roten Meeres auf periodische Impulse, welche die Wassermassen desselben durch die enge Straße von Bab-el-Mandeb vom Golfe von Aden her erhalten, zurückzuführen.

III. Teil.

Die Gezeiten des Persischen Golfes und der Meerenge von Hormus.

1. Einleitung.

Im Vergleich mit den relativ einfachen Gezeiten des Roten Meeres, die wir im II. Teile eingehend besprochen haben, sind jene des Persischen Golfes äußerst verwickelt; aber auch die orographischen Verhältnisse der beiden Nebenmeere unterscheiden sich in besonders auffallender Weise. Der Persische Golf vereinigt, worauf schon Krümmel[1] bei Besprechung des Gezeitenphänomens dieses Nebenmeeres besonders hinweist, im Vergleich mit dem Roten Meere einen wesentlich breiteren Zugangsquerschnitt mit erheblich kleinerem Wasservolumen; dadurch wird die durch die breite Meerenge von Hormus eindringende Gezeitenenergie auf die relativ kleine Wassermasse des Persischen Golfes einen großen und entschiedeneren Einfluß ausüben. Diese Verhältnisse näher beherzigend, wird es verständlich, wenn wir bei der Erklärung der Gezeiten des Persischen Golfes nicht diese allein für sich betrachten können, sondern, da sie mit den Gezeiten in der Straße von Hormus und mit jenen im Golfe von Oman auf das innigste verknüpft sind, den ganzen Komplex der Tatsachen in den Bereich der Untersuchung ziehen müssen. Dadurch wird die gestellte Aufgabe zwar wesentlich umfangreicher und schwieriger, aber nur ihre Lösung kann vom hydrodynamischen Standpunkte aus eine richtige und befriedigende Erklärung des Gezeitenphänomens dieses Nebenmeeres geben.

Die Erklärung, die Krümmel in seiner Ozeanographie für die komplizierten Gezeiten des Persischen Golfes gibt, ist, wenn man sie überhaupt als solche auffassen will, durchaus unbefriedigend; er faßt die Gezeiten als den Effekt einer fortschreitenden Welle auf, die von der Straße von Hormus in den Golf eindringt, diesen, sich rechts ans Land anlehnend, im Sinne entgegen dem

[1] Ozeanographie, II. Teil, p. 383.

Uhrzeiger umkreist und ihn bei ihrer Rückkehr zur Südseite des Meeres wieder, in den Golf von Oman austretend, verläßt. Die »sonst unverständlichen« Hafenzeiten lassen sich unter dieser Annahme mit den vorhandenen Wassertiefen größtenteils in Einklang bringen; weniger gut stimmen die daraus berechneten Hubhöhen.

Diese Erklärung paßt völlig auf das Schema der Erklärung der Gezeiten, das man seinerzeit für alle Nebenmeere gegeben hat; sie stimmt auch überein mit der früheren Erklärung der Gezeiten des Adriatischen Meeres, von der man bekanntlich nachgewiesen hat, daß sie in keiner Weise aufrecht zu halten ist. Wie überhaupt in einem Randmeer eine entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers umlaufende fortschreitende Welle entstehen und sich halten kann, ohne daß sich hiebei durch Interferenzen allerlei Störungen und Unregelmäßigkeiten ausbilden, ist nicht recht verständlich. Eine durch eine Meerenge in ein allmählich sich ausdehnendes Nebenmeer eindringende fortschreitende Welle würde sich wohl mehr oder minder gleichmäßig über das ganze Meer ausbreiten und in der sonst abgeschlossenen Wassermasse zu Mitschwingungserscheinungen Veranlassung geben, die in Krümmels Erklärung nicht einmal Erwähnung finden. Wir wollen nicht weitere Argumente gegen diesen Erklärungsversuch beibringen, der vom hydrodynamischen Standpunkte von vornherein unhaltbar ist.

Im folgenden wird eine hydrodynamische Theorie der Gezeiten des Persischen Golfes und der Meerenge von Hormus gegeben. Wenn wir das Ergebnis vorwegnehmen wollen, können wir sagen, daß, so verwickelt die Gezeitenerscheinungen in diesem Randmeere auch sind, die gegebene Theorie allen Einzelheiten gerecht wird, so daß kaum ein Punkt derselben unerklärt bleibt.

2. Die Beobachtungstatsachen und ihre Deutung.

Von verhältnismäßig zahlreichen Küstenorten des Golfes von Oman, der Straße von Hormus und auch des Persischen Golfes sind Hafenzeiten und Hubhöhen bekannt, so daß man sich ein ungefähres Bild von den Gezeitenerscheinungen dieses Meeresteils bilden kann. Tabelle 1 gibt die bekannt gewordenen Beobachtungstatsachen, und zwar neben der geographischen Lage des Küstenortes die gewöhnliche Hafenzeit und die Hubhöhe bei Springflut, größtenteils nach den Deutschen Gezeitentafeln wieder. In der letzten Kolonne steht die auf die Zeit des Meridians von 56° 15′ reduzierte Hafenzeit; sie wurde auf Zehntelstunden abgerundet. In Fig. 24, welche eine geographische Karte des betrachteten Gebietes darstellt, sind Hafenzeit und Hubhöhe bei jedem Küstenorte eingetragen; sie gestattet sich einen Überblick über die Verteilung dieser die Gezeitenerscheinung zur Zeit der Syzygien bestimmenden Faktoren zu verschaffen.

Nur von zwei Orten im betrachteten Gebiete sind die Ergebnisse der harmonischen Analyse der Gezeitenschwingung bekannt; diese Orte sind Maskat und Abu-schehr; der erste liegt im Golfe von Oman; die Konstanten desselben orientieren über den Charakter der Gezeiten in den äußeren Teilen des Golfes von Oman, die wohl identisch mit jenen im Indischen Ozean am Eingang in den Golf selbst sein dürften, wie ein Vergleich mit den Konstanten von Karatschi sofort zeigt. Der zweite Ort liegt an der Ostküste des Persischen Golfes, nahezu an seinem Nordende; seine harmonischen Konstanten orientieren über den Charakter der Gezeiten im innersten Teil des Persischen Golfes. Tabelle 2 gibt für die erwähnten Küstenplätze die Amplituden und Kappazahlen der hauptsächlichsten Partialtiden. [1]

Sieht man sich die Hafenzeiten und Hubhöhen des Golfes von Oman näher an, so erkennt man, daß im ganzen Gebiet desselben Hochwasser nahezu zur selben Zeit eintritt, während die Hubhöhe etwas an Größe zunimmt, wenn man von den äußeren Partien des Golfes gegen die inneren fort-

[1] Krümmel, Ozeanographie, II. Teil, p. 378 und 384.

Tabelle 1.

Gezeiten im Persischen Golf, in der Meerenge von Hormus und im Golf von Oman.

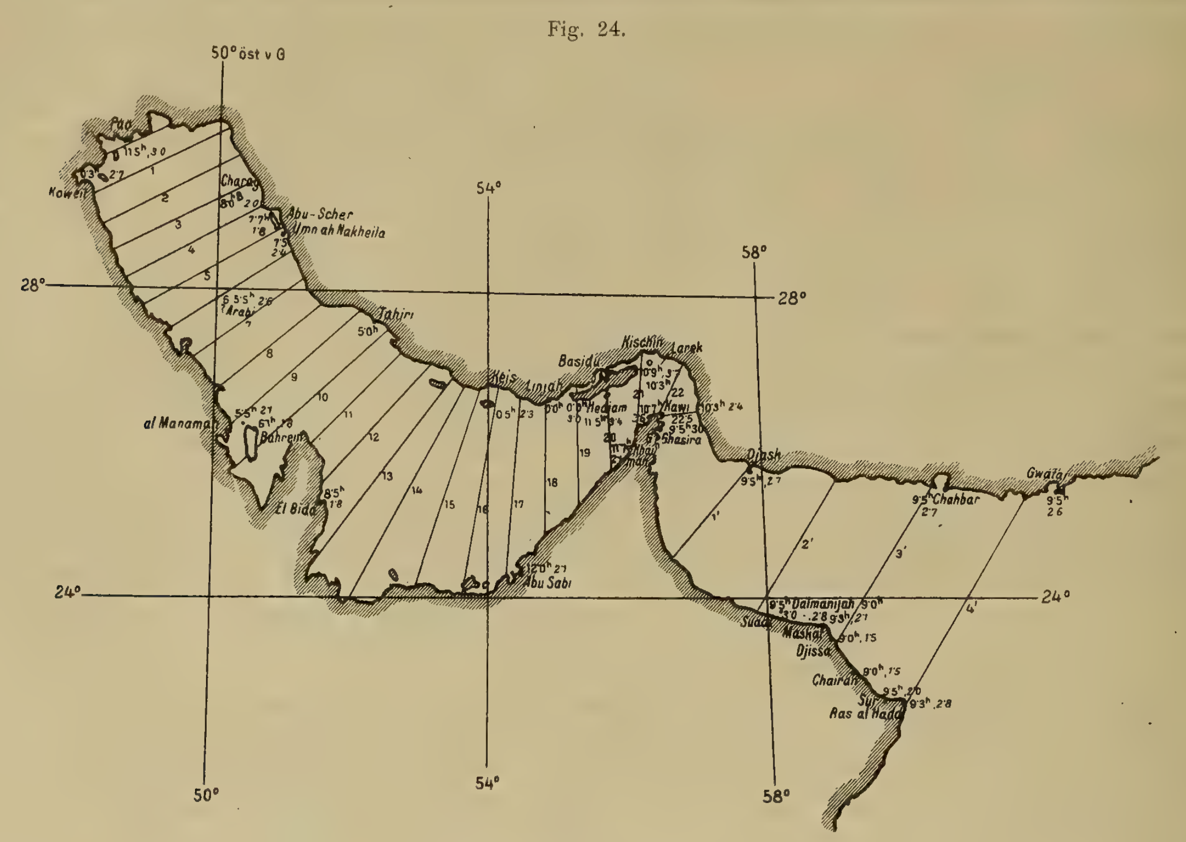
	Geog. Br. Nr.	Geog. Länge östl. v. Gr.	Hafenzeit	Hubhöhe bei Springflut in *m*	Hafenzeit, reduz. auf die Zeit des Meridians 56° 15
Golf von Oman.					
Ras-al Hadd	22°28	59°20	9^h15^m	2·8	$9^h_{\cdot}0$
Djarama Fl.	22 30	59 43	9 30	3·1	9·3
Sur, Ankerpl.	22 30	59 30	9 30	2·0	9·3
Bender Chairan (Bandar Khairan)	23 30	58 43	9 00	1·5	8·9
Bender Dijssa (Bandar Jissa)	23 33	58 38	9 00	1·5	8·9
Maskat	23 37	58 35	9 15	2·1	9·1
Daimanijah, Ins. (Daimaniyat, Ins.)	23 48	58 06	9 00	2·8	8·9
Djesiret, Ins.	23 50	57 50	9 30	3·1	9·4
Suadi, Ins.	23 46	57 47	9 30	3·0	9·4
Djasch (Jashk)	25 30	57 48	9 30	2·7	9·4
Chahbar (Tschahbar	25 18	60 36	9 30	2·7	9·5
Gwatar	25 6	61 36	9 30	2·6	9·2
Meerenge von Hormus und Persischer Golf.					
Ghubbet Ghasira (Kubbat Ghazira)	26°6	56°28	9^h30^m	3·0	$9^h_{\cdot}5$
Chor (Khor) Kawi	26 18	56 24	10 15	2·4	10·3
Choresch-Schem (Khorasch Shem)	26 15	56 19	10 40	2·6	10·7
Ras-al Khaimah	25 45	55 58	11 40	2·1 (?)	11·7
Abu Sabi (Abu Thabi)	24 30	54 24	12 00	2·1	0·1
El Bida (Al Bida)	25 17	51 33	8 30	1·8	8·8
Al Manamah	26 16	50 32	5 30	2·1	5·9
Bahrein Hfn.	26 18	50 45	6 5	1·7—2·0	6·4
Djesiret Arabi	27 47	59 11	6 30?	2·6 (?)	6·9?
Koweit (Kuweit)	29 22	47 59	$0^h—0^h30$	2·7	0·8
Fao Fort	29 30	48 30	11 30	3·0	0·0
Basra (Bar)	30 —	48 40	0 00	—	0·5
Djesiret Charag (Kharag, Ins.)	29 15	50 21	8 00	2·0	8·4
Buscher (Abu-Shahr)	28 59	50 50	7 43	1·8	8·1
Umm ah Nakheila	27 49	51 37	7 30	2·4	7·8
Tahiri	72 40	52 21	5 00	—	5·3
Djesiret Keis (Kais Ins.)	26 33	54 2	0 30	2·3	0·6
Linjah	26 33	54 54	0 00	—	0·1
Basidu (Ankerpl.)	26 39	55 17	0 00	3·0	0 0
Hendjam (Henjam) Sund	26 42	55 54	11 30	3·4	11·5
Kischm (Kishm)	26 57	56 17	$10^h45—11^h00$	3·7	10·9
Djesiret Lárek	26 53	56 24	10^h15	—	10·3

schreitet. Die Wasseroberfläche hebt und senkt sich also ziemlich gleichzeitig im ganzen Gebiet von der Linie Ras-al-Hadd—Gwatar bis zum Eingang in die Meerenge von Hormus.

Hier beginnen nun wesentliche Verschiedenheiten sowohl in der Hafenzeit wie in der Hubhöhe der Gezeitenschwingung. Die Hubhöhe nimmt innerhalb der Meerenge zunächst zu; sie steigt von

etwa $2 \cdot 7\,m$ am Eingange auf $3 \cdot 7\,m$ bei Kischm in der Mitte der Meerenge, nimmt dann wieder ab und sinkt bis auf $2 \cdot 2\,m$ am Südende des Persischen Golfes. Die Hafenzeit hingegen verspätet sich in der Meerenge immer mehr, von 9^h5 am Eingang bis 0^h0 in Linjah an der Nordküste und Abu Thabi an der Südküste im Übergangsgebiet zum Persischen Golf. Die größten Änderungen erfolgen

Fig. 24.



Hafenzeiten und Hubhöhen bei Springflut im Persischen Golf, in der Meerenge von Hormus und im Golf von Oman (Hafenzeiten in Ortszeit, Hubhöhen in *m*).

in der eigentlichen Straße von Hormus, sie werden geringer, wo sie sich zum Persischen Golf erweitert.

Im Persischen Golf selbst sind die Hafenzeiten auf den ersten Anblick etwas verwickelt; doch es ist nicht schwer, sie in ein bestimmtes System zu bringen. Es ist auch ganz plausibel, wenn man zunächst an eine den Golf entgegen dem Sinne des Uhrzeigers umlaufende, fortschreitende Welle gedacht hat. Die Anordnung der Hafenzeiten spricht ja direkt dafür; wir sehen, wenn wir an der südlichen Ostküste des Meeres beginnen, daß die Hafenzeit sich regelmäßig verspätet, wenn man nach Norden fortschreitet; Kais hat eine Hafenzeit 0^h5, Tahiri 5^h0, Abu-schehr 7^h7, Charag 8^h0; am Nordende würde die Welle nach Westen drehen und an der Westküste entlang gegen Süden weitergehen. Die beobachteten Hafenzeiten fügen sich gut dieser Annahme an. Vom hydrodynamischen Standpunkte aus ist aber die Deutung der beobachteten Hafenzeiten eine ganz andere. Schon eine rohe, den tatsächlichen Verhältnissen nur angenähert gerecht werdende Überschlagsrechnung lehrt daß beim Mitschwingen der Wassermassen des Persischen Golfes mit einer äußeren Gezeitenbewegung zwei Knotenlinien zur Ausbildung gelangen müssen, von denen die eine im nördlichen Teil, die andere im südlichen Teil des Golfes liegt. Unter dem Einflusse der ablenkenden Kraft der Erdrotation bilden sich aber aus den Knotenlinien infolge der günstigen orographischen Verhältnisse der Querschnitte zwei kräftige, entgegen dem Sinne des Uhrzeigers verlaufende Amphidromien aus; die eine würde den ganzen Nordteil des Persischen Golfes, etwa nördlich der Linie Tahiri-Bahrein, die zweite hingegen den südlichen Teil, südlich der eben erwähnten Linie bis zum Eingang in die Meerenge von Hormus umfassen.

Tatsächlich lassen sich unter Zugrundelegung der beobachteten Hafenzeiten diese Amphidromien konstruieren und wir sehen, daß auch die Amplitudenverteilung im Golfe auf das Vorhandensein dieser direkt hindeutet. Die gegebenen Beobachtungstatsachen lassen nicht viel Spielraum für die Zeichnung der Flutstundenlinien übrig, so daß die Fig. 30, welche die Konstruktion dieser Flutstundenlinien für den Persischen Golf und die Meerenge von Hormus wiedergibt, der Wirklichkeit ziemlich gut entsprechen dürfte. Die für Amphidromien charakteristische Verteilung der Hafenzeiten und Hubhöhen lassen es als sicher erscheinen, daß im Persischen Golf diese Amphidromien wirklich zur Ausbildung gelangen und daß durch sie die beobachteten komplizierten, »sonst unverständlichen« Gezeitenverhältnisse eine richtige Deutung erfahren.

Eine hydrodynamische Theorie der Gezeiten des Persischen Golfes und der Meerenge von Hormus muß nicht nur diese zwei Amphidromien, die allerdings die Haupterscheinung des Gezeitenphänomens dieses Nebenmeeres bilden, erklären; aus ihr muß auch die auffallende Verteilung der Hafenzeiten in der Straße von Hormus und nicht zuletzt auch die Verteilung der großen Hubhöhen im ganzen Randmeer gefolgert werden können. Erst wenn die Theorie über alle diese Erscheinungen gleichzeitig Aufschluß zu geben vermag, wird sie befriedigen.

Tabelle 2.

Harmonische Konstanten für Maskat, Karatschi und Abu-schehr.

Ort	Amplituden in *cm*					Kappazahlen (Grade)				
	M_2	S_2	N_2	K_1	O	M_2	S_2	N_2	K_1	O
Karatschi	77	29	18	39	20	294	322	277	46	47
Maskat	63	24	16	39	20	276	306	258	39	41
Abu-schehr	31	12	7	29	20	210	261	183	280	244

3. Die Eigenperiode des Persischen Golfes.

Bevor wir zur Erklärung der Beobachtungstatsachen übergehen, ist es angezeigt, sich über die Größe der Eigenperiode des Persischen Golfes zu orientieren. Zur Ermittlung derselben legen wir senkrecht zur Mittellinie des Golfes eine große Anzahl von Querschnitten, deren Lage in Fig. 24 schematisch angegeben ist. Vom Nordende ausgehend, wurden zunächst insgesamt 22 Querschnitte gezogen; ihre Entfernung voneinander ist überall gleich groß und beträgt 44·45 *km*; der 22. Querschnitt liegt an jener Stelle der Straße von Hormus, an welcher diese nach Süden umbiegt; von diesem Querschnitt ausgehend wurde noch in einer Entfernung, die nur halb so groß wie die frühere ist, die also 22·22 *km* beträgt, ein weiterer Querschnitt gelegt, den wir durch die Zahl 22·5 bezeichnen. Mit diesem Querschnitt dürfte das innere Ende des Golfes von Oman zusammenfallen; es wurde nicht für nötig erachtet, auch in diesem Meeresteil eine so große Zahl von Querschnitten zu legen, die sich ergeben hätte, wenn man eine Entfernung von 44·45 *km* zwischen zweien beibehalten hätte. Wie die späteren Rechnungen zeigen, genügen völlig vier Querschnitte, die wir mit 1′, 2′, 3′ und 4′ bezeichnen und die je 150 *km* voneinander entfernt sind. Der Querschnitt 4′ bildet vom Indischen Ozean aus den Eingang in den Golf von Oman.

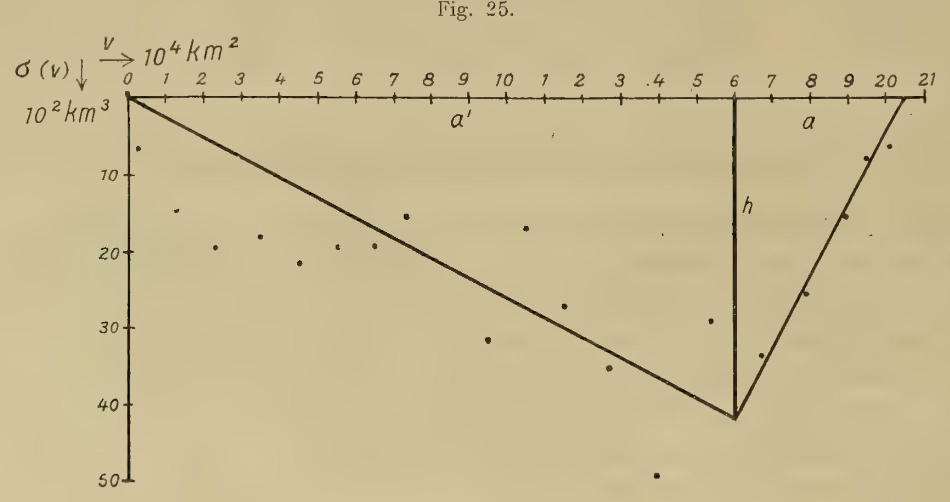
Die Breite sowie die Querschnittfläche der Querschnitte 1 bis 22·5 wurden nach der englischen Admiralitätskarte, die mir das geographische Institut der Wiener Universität freundlichst zur Verfügung stellte, durch Zeichnung der einzelnen bathymetrischen Kurven mit großer Genauigkeit zum Teil auf planimetrischem Wege ermittelt.

Die Breite und Fläche der Querschnitte 1′ bis 4′ wurden nach einer größeren Tiefseekarte bestimmt; ihre Genauigkeit reicht nicht heran an die Genauigkeit der nach der englischen Karte ermittelten Querschnittflächen 1 bis 22·5. Die große Tiefe des Meeres im Golf von Oman gestattet es aber, sich in diesem Teil mit einer wesentlich geringeren Genauigkeit zu begnügen. In folgender Tabelle 3 sind die Breite des Meeres an den einzelnen Querschnitten, sowie die Querschnittfläche der letzteren mitgeteilt; eine Kolonne enthält außerdem die Oberfläche des Meeres zwischen je zwei Querschnitten, eine weitere die Oberfläche des Meeres vom Nordende bis zu den einzelnen Querschnitten. Außer diesen Zahlenwerten, die wir für die folgenden Rechnungen benötigen, finden sich in Tabelle 3 auch die Koordinaten zur Zeichnung der Normalkurve des Persischen Golfes im Sinne Chrystal's.

Zur Berechnung der Eigenperiode des Persischen Golfes wurde angenommen, daß derselbe sein südliches Ende beim Querschnitt 20 erreicht; es war nicht beabsichtigt, bei der Ermittlung dieser für die abgeschlossenen Wassermassen des Persischen Golfes charakteristischen Konstante auch die Meerenge von Hormus mit zu berücksichtigen; übrigens hätte die Verschiebung des Südendes bis zum Querschnitt 22·5, wie wir noch sehen werden, nur eine kleine Verlängerung der Eigenperiode zur Folge. Zur Ermittlung der Eigenperiode wurde sowohl die japanische Methode sowie jene von Chrystal benützt. Die numerischen Werte für die erstere Ermittlung stehen in den letzten Kolonnen der Tabelle 3. Nach Berücksichtigung der Breiten- und Volumskorrektur ergibt sich als Eigenperiode der einknotigen freien Schwingung der Wassermassen des Persischen Golfes 22·6 Stunden. Diese lange Eigenperiode hat ihren Grund in der kleinen Wassertiefe dieses Nebenmeeres, die im Durchschnitt, wie die Tabelle 3 zeigt, 40 *m* nicht überschreitet.

Die Benützung der Chrystal'schen Methode macht eine Schematisierung der Normalkurve, die punktweise in Fig. 25 dargestellt ist, notwendig. Da sich die Rechnung nicht lohnt, durch mehrere Kurvenstücke die Normalkurve möglichst gut wiederzugeben, wurde als erste Annäherung ein

Fig. 25.



Normalkurve des Persischen Golfes.

Dreieck als Normalkurve gewählt; wie aus der Figur zu ersehen ist, kann die Darstellung der Punktreihe durch eine Gerade im ersten Teile des Meeres wohl nur als erste rohe Annäherung angesehen werden, im zweiten Teil ist die Darstellung durch eine Gerade günstiger. Die Periodengleichung für ein Dreieck als Normalkurve lautet nach dem 2. Falle auf p. 5 des I. Teiles, 2. Abschnitt *A:*

$$\frac{a'}{a} J_0(n\alpha)\, J_1(n\alpha') + J_0(n\alpha')\, J_1(n\alpha) = \Delta = 0;$$

hiebei ist

$$n = \frac{2\pi}{T} \text{ und } \alpha = \frac{2a}{\sqrt{gh}}.$$

Tabelle 3.

Breiten- und Querschnittsverhältnisse des Persischen Golfes, der Meerenge von Hormus und des Golfes von Oman.

Querschnitt Nr.	Entfernung vom Nordende *km*	Breite $b(x)$ *km*	Querschnitt-fläche $S(x)$ in km^2	Mittlere Tiefe in *m*	Oberfläche zwischen je zwei Querschnitten km^2	Oberfläche vom Nordende $v(x)=\int_0^x b(x)\,dx$ $10^4\,km^2$	$\sigma(v)=b(x).S(x)$ $10^2\,km^3$	$\Delta b(x)$ *km*	$\Delta S(x)$ km^2
0	0	0	0	0	—	0	0	−218·5	− 8·68
1	44·4	218·7	2·97	14	4862	0·49	6·50	+ 0·2	− 5·43
2	88·9	224·9	6·56	29	9857	1·47	14·76	+ 6·4	− 1·72
3	133·3	233·8	8·45	36	10190	2·49	19·77	+ 15·3	− 0·14
4	177·8	224·9	8·06	36	10190	3·51	18·14	+ 6·4	− 0·19
5	222·2	227·6	9·23	41	10034	4·51	21·04	+ 9·1	0·0
6	266·7	223·1	8·78	39	10012	5·51	19·58	+ 4·6	− 0·03
7	311·1	192·9	10·01	52	9235	6·43	19·31	− 25·6	− 0·78
8	355·6	191·1	8·32	44	8525	7·29	15·89	− 27·4	+ 0·29
9	400·0	249·8	8·78	35	9790	8·27	21·93	+ 31·3	− 0·09
10	444·4	298·7	10·34	34	12188	9·49	31·82	+ 80·2	− 1·65
11	488·9	186·7	9·10	49	10767	10·56	17·02	− 31·8	− 0·40
12	533·3	236·5	11·70	49	9391	11·50	27·61	+ 18·0	− 2·44
13	577·8	266·7	13·19	49	11167	12·62	35·24	+ 48·2	− 2·65
14	622·2	344·9	14·36	42	13586	13·98	49·68	+126·4	− 1·76
15	666·7	288·0	10·34	35	14053	15·38	29·66	+ 69·5	0·00
16	711·1	296·0	11·51	39	12965	16·68	34·04	+ 77·5	+ 0·87
17	755·6	248·0	10·46	42	12077	17·89	26·04	+ 29·5	+ 1·05
18	800·0	180·5	8·32	46	9524	18·84	15·06	− 38·0	− 0·28
19	844·4	142·2	5·95	42	7171	19·56	8·45	− 76·3	− 2·60
20	888·9	113·8	5·92	52	5683	20·13	6·76	−104·7	− 2·77
21	933·4	64·9	4·78	74	3967				
22	977·8	64·0	4·45	70	2862				
22·5	1000·–	54·2	4·03	74	1312				
1'	1150·–	125·–	37·5	300	$13·4.10^3$				
2'	1300·–	190·–	209·–	1100	$23·6.10^3$				
3'	1450·–	240·–	408·–	1700	$32·2.10^3$				
4'	1500·–	330·–	825·–	2500	$42·7.10^3$				

$$b_0 = 218·5 \quad S_0 = 8·682$$

$$h^0 = 39·73\,m \quad l = 888·9\,km$$

$$\Sigma\Delta\, b(x) \cos\frac{2\pi x}{l} = -260·82 \qquad T = 25·04\,(1-4·02985-0·06816)$$

$$\Sigma\Delta\, S(x) \cos\frac{2\pi x}{l} = -23·67 \qquad T = 25·04.0·902 = 22·59 \text{ **Stunden.**}$$

Der Fig. 25 entnimmt man für unseren vorliegenden Fall folgende numerische Werte für die vorkommenden Größen:

$$h = 42.10^2\ km^3, \quad a' = 16.10^4\ km^2, \quad a = 4\cdot 5.10^4\ km^2, \quad l = 20\cdot 5.10^4\ km^2,$$

$$\frac{a'}{a} = 3\cdot 556, \quad \alpha = 1\cdot 404.10^4, \quad \alpha' = 4\cdot 991.10^4.$$

Mit Hilfe der Tafeln für die Bessel'schen Funktionen berechnet man folgende Werte für Δ, wenn man für n der Reihe nach die angegebenen Zahlenwerte nimmt:

$n =$	$0\cdot 8.10^{-4}$	$0\cdot 81.10^{-4}$	$0\cdot 82.10^{-4}$
$\Delta =$	$-\ 0\cdot 0302$	$+\ 0\cdot 0155$	$+\ 0\cdot 0628$

Daraus kann geschlossen werden, daß $\Delta = 0$ wird, für $n = 0\cdot 805.10^{-4}$; aus dem letzteren Wert ergibt sich T, die Eigenperiode der einknotigen freien Schwingung des Persischen Golfes zu 21·7 Stunden. Die Übereinstimmung mit dem nach der japanischen Methode ermittelten Werte ist, namentlich wenn man bedenkt, daß letzterer Wert nur eine erste Annäherung sein kann, eine vollauf befriedigende. Wir sind also berechtigt, aus den vorhergehenden Rechnungen den Schluß zu ziehen, daß die Wassermassen des Persischen Golfes für sich allein betrachtet auf eine Periode, die zwischen 21 und 23 Stunden liegt, abgestimmt sind. Wir könnten dieses Resultat noch durch die Restmethode überprüfen; das erübrigt sich aber, da wir später eine diesbezügliche Rechnung zu einem anderen Zwecke durchzuführen gezwungen sind, die uns zeigt, daß auch die Restmethode keinen anderen Wert liefern würde. Wählt man nämlich als Periode der einknotigen freien Schwingung $T = 23\cdot 9$ Stunden, berechnet nach der Restmethode (siehe I. Teil, 2. Abschnitt *C*, p. 11) die Hubhöhenverteilung längs des ganzen Meeres und setzt die Rechnung auch für Querschnitte in die Meerenge von Hormus fort, so zeigt sich (siehe Tabelle 10 auf p. 114), daß die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen nicht unweit des Querschnittes 22·5 Null wird. Dies besagt, daß der Persische Golf samt der Straße von Hormus als ganzes betrachtet eine Eigenperiode von 23·9 Stunden besitzt, die, was nebenbei erwähnt sei, mit der Periode der eintägigen K_1-Tide übereinstimmt. Der Persische Golf für sich allein wird demnach eine etwas kleinere Periode besitzen und wir kommen so wieder zu Werten, die mit den nach den anderen Methoden vermittelten übereinstimmen.

Es bleibt aber eine interessante und für die folgenden Untersuchungen überaus wichtige Tatsache, daß die innerhalb der Straße von Hormus liegenden Wassermassen eine Eigenperiode besitzen, die nicht viel von 24 Stunden abweicht.

Infolge der großen Tiefen des Golfes von Oman ist seine Eigenperiode sehr klein; eine ungefähre Rechnung ergab den Wert von 2·8 Stunden; er dürfte von der Wirklichkeit nur wenig abweichen; daß die Eigenperiode der Wassermassen des Golfes von Oman relativ sehr klein sein muß, hätte schon aus der Tatsache geschlossen werden können, daß die Gezeitenschwingung sich nur wenig innerhalb des Golfes ändert.

4. Theorie der Gezeiten in einem einseitig geschlossenen Kanal, der aus mehreren Teilen verschiedener Längsrichtung besteht.

Wenn wir nun zur Erklärung der Gezeiten der betrachteten Meeresteile übergehen, müssen wir uns gegenwärtig halten, daß die orographischen Verhältnisse dieser Meeresteile als ein ganzes betrachtet ziemlich kompliziert sind. Fassen wir den Persischen Golf, die Meerenge von Hormus und den Golf von Oman als einen einseitig geschlossenen, in den Indischen Ozean einmündenden Kanal auf, so können wir nicht annehmen, daß die Längsrichtung desselben überall dieselbe ist, wenn auch streckenweise, und zwar einerseits im Persischen Golf für sich, andrerseits in der Meerenge von Hormus und endlich auch im Golf von Oman diese Längsrichtung sich nicht viel ändert. Während

aber diese Längsrichtung im Persischen Golf und im Golf von Oman nicht wesentlich voneinander abweichen, steht die Längsrichtung der Meerenge von Hormus nahezu senkrecht auf die der ersteren. Aus diesem Grunde werden die Verhältnisse wesentlich verwickelter.

Wenn wir etwas schematisieren wollen — und dies müssen wir zunächst tun, um uns über die zur Entwicklung kommenden Gezeitenschwingungen zu orientieren — können wir den betrachteten Meeresteil durch einen Kanal ersetzen, der aus drei Teilen besteht; der innerste ist am Nordende geschlossen, das Südende desselben mündet in einen zweiten Kanal, der eine wesentlich andere Längsrichtung besitzt. Am anderen Ende dieses zweiten Kanals setzt ein dritter Kanal ein, dessen Längsrichtung mit jener des ersten Teiles nahezu übereinstimmt. Geben wir diesen Kanalteilen wechselnde Breiten- und Querschnittverhältnisse, so dürfte die Annäherung an die tatsächlichen orographischen Verhältnisse des Persischen Golfes, der Meerenge von Hormus und des Golfes von Oman als eine ziemlich gute zu bezeichnen sein. Was für Gezeiten entwickeln sich aber in einem solchen Kanal, der in einem offenen Meere mit bestimmter Gezeitenbewegung mündet? Darüber muß die Schwingungstheorie der Gezeiten eine bestimmte Antwort geben.

Mit dieser wollen wir uns im folgenden befassen und zunächst den einfachsten Fall behandeln, daß der einseitig geschlossene Kanal überall gleiche Breite und Tiefe besitzt und nur aus zwei Teilen verschiedener Längsrichtung zusammengesetzt ist.

A. Der Kanal besteht aus zwei Teilen verschiedener Längsrichtung.

Fig. 26 gibt eine Skizze eines solchen Kanals, der aus zwei Teilen verschiedener Längsrichtung zusammengesetzt ist. Den Koordinatenursprung verlegen wir am inneren geschlossenen Ende und zählen die X-Richtung positiv in der Richtung der Längsachse des inneren Kanalteils; am äußeren Ende des inneren Kanalteiles ($x = \lambda$) erfährt die x-Achse eine Knickung in die Richtung des zweiten Kanalteiles, der bei $x = l$ in das äußere Meer einmündet. Die durch die Gezeitenbewegung hervorgerufenen horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen bezeichnen wir im inneren Kanalteil mit ξ und η, im äußeren Kanalteil mit u und v.

Fig. 26.

In der Längsrichtung des inneren Kanals wirkt außerdem eine periodische, von der Anziehungskraft von Sonne und Mond herrührende Störungskraft ($\varkappa$, ε), deren Amplitude $\varkappa$ und Phase ε nach den Darlegungen im 1. Teil, 3. Abschnitt D, von der Neigung der Längsachse des Kanals gegen die Meridianrichtung abhängt; im äußeren Kanalteil, wo diese Neigung eine andere ist, ist diese in der Richtung der Kanalachse wirkende periodische Kraft ebenfalls eine andere, und zwar durch ($\varkappa'$, ε') gegeben. Gesucht werden die unter Einwirkung dieser periodischen Kräfte im Kanal, der in ein offenes Meer mit einer Gezeitenbewegung $v = a \cos(\sigma t + \alpha)$ mündet, zur Entwicklung gelangenden Gezeitenschwingungen. Die Periode der äußeren Gezeitenbewegung σ sei identisch mit der Periode der Störungskräfte.

Die Wasserbewegung in beiden Kanalteilen I und II muß folgenden Differentialgleichungen genügen:

I.

$$1)\qquad \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \varkappa \cos(\sigma t + \varepsilon), \qquad \eta = -h \frac{\partial \xi}{\partial x}$$

II.

$$2)\qquad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \varkappa' \cos(\sigma t + \varepsilon'), \qquad v = -h \frac{\partial u}{\partial x}.$$

Hiezu kommen noch eine Anzahl von Grenzbedingungen, und zwar muß für alle Zeiten:

$$\text{3)}\quad \begin{aligned} &\text{bei } x=0 \quad \xi=0 \\ &\text{bei } x=\lambda \quad \xi=u \text{ und } \eta=v \\ &\text{bei } x=l \quad v=a(\cos(\sigma t+\alpha) \text{ sein.} \end{aligned}$$

Der allgemeinen Lösung der Differentialgleichungen 1 und 2 kann die Form 4 gegeben werden

$$\text{4)}\quad \begin{aligned} \xi &= \left[A\sin\frac{\sigma x}{c}+B\cos\frac{\sigma x}{c}-\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\varepsilon\right]\cos\sigma t-\left[C\sin\frac{\sigma x}{c}+D\cos\frac{\sigma x}{c}-\frac{\varkappa}{\sigma^2}\sin\varepsilon\right]\sin\sigma t \\ u &= \left[E\sin\frac{\sigma x}{c}+F\cos\frac{\sigma x}{c}-\frac{\varkappa'}{\sigma^2}\cos\varepsilon'\right]\cos\sigma t-\left[G\sin\frac{\sigma x}{c}+H\cos\frac{\sigma x}{\sigma}-\frac{\varkappa'}{\sigma^2}\sin\varepsilon'\right]\sin\sigma t. \end{aligned}$$

Analoge Gleichungen, die nach der zweiten der Differentialgleichungen 1 und 2 sofort hingeschrieben werden können, gelten für η und v.

Die Bestimmung der acht freien Konstanten A, B, C, D, E, F, G und H gelingt aus den gegebenen vier Grenzbedingungen nach längerer Rechnung, die sich wesentlich verkürzt, wenn man bedenkt, daß aus A, B, E und F sich ohneweiters C, D, G und H ergeben, wenn man in den entsprechenden Gleichungen der Reihe nach $\cos\alpha$, $\cos\varepsilon$ und $\cos\varepsilon'$ mit $\sin\alpha$, $\sin\varepsilon$ und $\sin\varepsilon'$ vertauscht.

Bezeichnet man noch die Differenz der periodischen Kräfte $(\varkappa', \varepsilon')-(\varkappa, \varepsilon)$, die ebenfalls eine periodische Kraft vorstellt, mit (γ, ρ) nach der Gleichung

$$\text{5)}\quad \varkappa'\cos(\sigma t+\varepsilon')-\varkappa\cos(\sigma t+\varepsilon)=\gamma\cos(\rho t+\rho),$$

so findet man folgende Lösung der Gleichungssysteme 1 und 2:

I.

$$\text{6)}\quad \begin{aligned} \xi &= \frac{1}{\cos\frac{\sigma l}{c}}\left[-\frac{ca}{h\sigma}\sin\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t+\alpha)+\left\{\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\frac{\sigma}{c}(l-x)-\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\frac{\sigma l}{c}\right\}\cos(\sigma t+\varepsilon)+\right. \\ &\qquad \left.+\frac{\gamma}{\sigma^2}\sin\frac{\sigma}{c}(l-\lambda)\sin\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t+\rho)\right] \\ \eta &= \frac{1}{\cos\frac{\sigma l}{c}}\left[a\cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t+\alpha)-\frac{h\varkappa}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos(\sigma t+\varepsilon)-\right. \\ &\qquad \left.-\frac{h\gamma}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-\lambda)\cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t+\rho)\right] \end{aligned}$$

II.

$$\text{7)}\quad \begin{aligned} u &= \frac{1}{\cos\frac{\sigma l}{c}}\left[-\frac{ca}{h\sigma}\sin\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t+\alpha)+\frac{\varkappa}{\sigma^2}\cos\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos(\sigma t+\varepsilon)-\frac{\varkappa'}{\sigma^2}\cos\frac{\sigma l}{c}\cos(\sigma t+\varepsilon')+\right. \\ &\qquad \left.+\frac{\gamma}{\sigma^2}\cos\frac{\sigma\lambda}{c}\cos\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos(\sigma t+\rho)\right] \\ v &= \frac{1}{\cos\frac{\sigma l}{c}}\left[a\cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t+\alpha)-\frac{h\varkappa}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos(\sigma t+\varepsilon)-\right. \\ &\qquad \left.-\frac{c\gamma}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos\frac{\sigma\lambda}{c}\cos(\sigma t+\rho)\right]. \end{aligned}$$

Gleichungen 6 gelten für den inneren Kanalteil, Gleichungen 7 für den äußeren; uns interessieren vor allem die vertikalen Verlagerungen der Wasserteilchen η und v. Mit der Diskussion dieser Ausdrücke wollen wir uns nun befassen.

Wir sehen zunächst, daß in der Gleichung für η sowie in jener für v die ersten zwei Ausdrücke innerhalb der eckigen Klammer vollständig identisch sind; sie stimmen außerdem vollständig überein mit der Gleichung 39 des ersten Teiles (siehe p. 93), die uns die vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen gibt, die in einem einseitig geschlossenen Kanal, der in ein Meer mit bestimmter Gezeitenbewegung mündet, unter Einwirkung einer gleichförmigen, längs der Hauptachse des Kanals wirkenden periodischen Störungskraft zur Ausbildung gelangen. Das erste Glied im Ausdrucke für η und v hängt nur von der äußeren Gezeitenbewegung ab und stellt jene Schwingung dar, die durch das Mitschwingen der Wassermassen des ganzen Kanals mit der Gezeitenbewegung des äußeren Meeres hervorgerufen wird. Das zweite Glied gibt die selbständige Gezeitenkomponente, die im ganzen Kanal unter der Einwirkung der periodischen Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$ zustande kommt; sie besitzt stets eine Knotenlinie an der Mündung des Kanals in das offene Meer.

Die dritten Glieder im Klammerausdruck von η und v sind nicht identisch; in ihnen steckt der Einfluß der Verschiedenheit von Amplitude und Phase der in der Richtung der Hauptachse der Kanalteile wirkenden Kräfte. Würde auch im zweiten Kanalteile eine periodische Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$ wirken, so würde ein drittes Glied nicht vorhanden sein und die ersten zwei Glieder würden die zur Ausbildung gelangende Gezeit darstellen. Nun wirkt im zweiten Kanalteil nicht die Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$, sondern die Kraft $(\varkappa', \varepsilon')$. Es bleibt also, wenn wir die Kraftkomponente $(\varkappa, \varepsilon)$ davon abziehen, noch die Kraftkomponente (γ, ρ) übrig, die im zweiten Kanalteil noch wirkt, im ersten Kanalteil aber fehlt.

Den zweiten Kanalteil können wir als einen beiderseits offenen Kanal ansehen; wir fragen nach den Gezeiten, die sich in einem solchen Kanal unter Einwirkung einer in der Längsrichtung des Kanals wirkenden periodischen Kraft (γ, ρ) ausbilden; am Südende des Kanals, dort wo dieser in den freien Ozean mündet, ist keine beschränkende Grenzbedingung zu erfüllen, außer die, daß die entstehende Gezeitenbewegung mit der äußeren Gezeitenbewegung aus Stetigkeitsgründen übereinstimmen muß; am anderen Ende des Kanals aber, dort wo dieser in den ersten Kanalteil einmündet, tritt für ξ und η eine ganz bestimmte Grenzbedingung auf, die sich aus folgender Betrachtung ergibt. Würde der erste Kanalteil beiderseits offen sein, dann wäre keine Beschränkung in ξ und η, beziehungsweise in u und v zu erwarten; da aber dieser Teil geschlossen ist, so erfolgt sofort, wenn im zweiten Kanalteil eine horizontale oder vertikale Verschiebung von Wassermassen auftritt, ein Mitschwingen des ersten Kanalteiles; bei gegebener Phase der Schwingung ist aber dann das Verhältnis von $\xi : \eta$ an der Mündung fix gegeben. Wenn also im zweiten Kanalteil unter Einwirkung der periodischen Kraft (γ, ρ) eine Gezeitenschwingung hervorgerufen wird, so bedingt diese im inneren Teil eine Mitschwingungsgezeit mit fixem Verhältnis $\xi : \eta$ an der Mündung. Aus Stetigkeitsgründen kann demnach im äußeren Kanalteil nur eine solche Gezeit sich ausbilden, bei welcher an der Mündung in den inneren Kanalteil dasselbe Verhältnis $\xi : \eta = u : v$ vorhanden ist wie beim Mitschwingen des inneren Kanalteils mit einer äußeren Gezeitenbewegung.

Die Gezeiten, die in einem Verbindungskanal unter Einwirkung einer periodischen Kraft (γ, ρ) unter der Bedingung, daß an einem Ende des Kanals das Verhältnis $u : v$ fix gegeben ist, zur Ausbildung gelangen, haben wir im I. Teil, 7. Abschnitt *C*, 2. Fall näher berechnet. Bevor wir die dort abgeleitete Gleichung 52 benützen, müssen wir den Wert des Verhältnisses $u : v$ für das eine Ende bestimmen. Schwingt der innere Kanalteil mit einer äußeren Gezeitenbewegung, $m \cos(\sigma t + \rho)$ mit, so ist die horizontale und vertikale Verschiebung der Wasserteilchen in einer Entfernung λ vom geschlossenen Ende gegeben durch die Gleichungen

$$\bar{\xi} = -\frac{cm}{h\sigma \cos \frac{\sigma l}{c}} \sin \frac{\sigma}{c} \lambda \cos(\sigma t + \rho) \quad \text{und} \quad \bar{\eta} = \frac{m}{\cos \frac{\sigma l}{c}} \cos \frac{\sigma}{c} \lambda \cos(\sigma t + \rho).$$

Es ist also bei $x = \lambda$ das Verhältnis

$$\xi : \eta = -\frac{c}{h\sigma} \operatorname{tang} \frac{\sigma}{c} \lambda.$$

Diesen Wert muß auch das Verhältnis von $u : v$ am inneren Ende des äußeren Kanalteils besitzen. Dann ist aber Gleichung 52 des I. Teiles sofort anwendbar. Die Gezeiten im äußeren Kanalteil, die unter Einwirkung der periodischen Kraft (γ, ρ) sich ausbilden, sind durch folgende Gleichung gegeben:

$$9) \qquad v = -\frac{h\gamma}{c\sigma} \frac{\cos \frac{\sigma}{c} \lambda}{\cos \frac{\sigma l}{c}} \sin \frac{\sigma}{c} (l - x) \cos (\sigma t + \rho).$$

Dieser Ausdruck 9 deckt sich vollständig mit dem dritten Gliede in der Klammer des Ausdruckes für v in der zweiten Gleichung 7.

Bei $x = \lambda$, das ist am inneren Ende des zweiten Kanalteils hat diese Gezeit die Amplitude

$$\bar{v} = -\frac{h\gamma}{c\sigma} \frac{\cos \frac{\sigma}{c} \lambda}{\cos \frac{\sigma l}{c}} \sin \frac{\sigma}{c} (l - \lambda).$$

Dieser Wert muß sich decken mit dem Wert $\bar{\eta}$ der Gleichungen 8; dadurch ergibt sich die Bestimmung für die noch freie Konstante m; es muß

$$m = -\frac{h\gamma}{c\sigma} \sin \frac{\sigma}{c} (l - \lambda)$$

sein. Dadurch wird die durch die Gezeit des zweiten Kanalteiles hervorgerufene Mitschwingungsgezeit des ersten Kanalteils

$$10) \qquad \eta = -\frac{h\gamma}{c\sigma} \sin \frac{\sigma}{c} (l - \lambda) \cos \frac{\sigma x}{c} \cos (\sigma t + \rho).$$

Dieser Ausdruck 10 deckt sich aber vollständig mit dem dritten Gliede in der Klammer des Ausdruckes für η in der zweiten Gleichung 6.

Auf diese Weise haben wir jedes Glied der Gleichungen 6 und 7 näher diskutiert und wir sehen, daß jedem eine ganz bestimmte physikalische Bedeutung zukommt.

Die im zusammengesetzten Kanal zur Ausbildung gelangende Gezeitenschwingung ist die Superposition von drei einfachen Schwingungen, und zwar entwickelt sich erstens: eine einfache Mitschwingungsgezeit mit der Gezeitenbewegung im äußeren Meere; diese ist unabhängig von den wirkenden periodischen Kräften.

Im äußeren Kanalteil wirkt die Kraft $(\varkappa', \varepsilon')$, die wir in zwei Komponenten zerlegen können, und zwar in $(\varkappa, \varepsilon)$, der periodischen Kraft des inneren Kanalteils, und in $(\gamma, \rho) = (\varkappa', \varepsilon') - (\varkappa, \varepsilon)$. Dann wirkt im ganzen Kanal längs seiner Hauptachse die periodische Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$ und außerdem noch im zweiten Kanalteil die Kraft (γ, ρ). Unter Einwirkung der ersten Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$ bildet sich eine selbständige Gezeitkomponente des ganzen Kanals aus; das ist zweite Schwingung, die im Kanal zur Entwicklung gelangt.

Drittens schwingt noch der äußere Kanalteil unter der Einwirkung der noch übrig bleibenden Kraftkomponente (γ, ρ) derart, daß der innere Kanalteil mitschwingen kann und Stetigkeit in den Wasserbewegungen an der Grenze der beiden Kanäle vorhanden ist; auch diese dritte Schwingung ist eine unter bestimmten Grenzbedingungen sich entwickelnde selbständige Gezeitenkomponente des

äußeren Kanalteiles; wir wollen sie im Gegensatz zur einfacheren ersteren selbständigen Gezeitenkomponente die selbständige Gezeitenkomponente zweiter Art nennen.

Die Superposition aller drei Schwingungen gibt die theoretischen Gezeiten des »gebrochenen« Kanals; wir ersehen aus ihr, daß die Schwingungsverhältnisse dadurch bereits ziemlich kompliziert ausfallen können.

B. Der Kanal bestehe aus drei Teilen verschiedener Längsrichtung.

Aus dem vorhergehenden Falle könnte man auf den allgemeinsten Fall, daß der Kanal aus mehreren Teilen verschiedener Längsrichtung zusammengesetzt ist, schließen. Trotzdem finden wir es angebracht, wenn wir den Fall, den wir in folgender Untersuchung benötigen, etwas ausführlicher aus den Differentialgleichungen ableiten.

Fig. 27 gibt eine Skizze dieses zweimal gebrochenen Kanals; die Längsrichtung des ersten und dritten Teiles sei identisch; die in dieser Richtung wirkende periodische Kraft ist $(\varkappa, \varepsilon)$; im Zwischenstück II ist die in der Längsachse des Kanals wirkende periodische Kraft $(\varkappa', \varepsilon')$. Die horizontalen und vertikalen Verschiebungen in den einzelnen Kanalteilen sei ξ, η; u, v; und ρ, τ. Für jeden Fall gelten Differentialgleichungen der Form 1. Die Grenzbedingungen sind: für beliebiges t muß bei $x = 0, \xi = 0$, bei $x = m$ $\xi = u$ und $\eta = v$, bei $x = n$ $u = \rho$ und $v = \tau$ und schließlich bei $x = l$ $\tau = Z \cos(\sigma t + \zeta)$ sein. Die allgemeine Lösung der Differentialgleichungen nehmen wir in derselben Form wie im früheren Falle; doch tritt noch ein drittes Gleichungspaar für ρ und τ hinzu, welche die Konstanten X, Y, U und V enthält. Die zwölf freien Konstanten lassen sich wieder aus den sechs Grenzbedingungen ermitteln, wobei wieder die Rechnung wesentlich verkürzt wird, wenn man bedenkt, daß aus A, B, E, F, X, Y der Reihe nach C, D, G, H, U, V wird, wenn man in den entsprechenden Gleichungen $\cos\zeta$, $\cos\varepsilon$ und $\cos\varepsilon'$ mit $\sin\zeta$, $\sin\varepsilon$ und $\sin\varepsilon'$ vertauscht. Die etwas umständliche Rechnung ergibt für die vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen in den einzelnen Kanalteilen folgende Gleichungen:

Fig. 27.

$$\eta = \frac{1}{\cos\frac{\sigma l}{c}}\Big[Z \cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t + \zeta) - \frac{h\varkappa}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos(\sigma t + \varepsilon) -$$

$$- \frac{h\gamma}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-m)\cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t + w) + \frac{h\gamma}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-n)\cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t + w)\Big] \tag{11}$$

$$v = \frac{1}{\cos\frac{\sigma l}{c}}\Big[Z \cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t + \zeta) - \frac{h\varkappa}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos(\sigma t + \varepsilon) -$$

$$- \frac{h\gamma}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos\frac{\sigma m}{c}\cos(\sigma t + w) + \frac{h\gamma}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-n)\cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t + w)\Big] \tag{12}$$

$$\tau = \frac{1}{\cos\frac{\sigma l}{c}}\Big[Z \cos\frac{\sigma x}{c}\cos(\sigma t + \zeta) - \frac{h\varkappa}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos(\sigma t + \varepsilon) -$$

$$- \frac{h\gamma}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos\frac{\sigma m}{c}\cos(\sigma t + w) + \frac{h\gamma}{c\sigma}\sin\frac{\sigma}{c}(l-x)\cos\frac{\sigma n}{c}\cos(\sigma t + w)\Big] \tag{13}$$

In Gleichung 11 geht x von 0 bis m, in der Gleichung 12 von m bis n und in der Gleichung 13 von n bis l. Außerdem ist

$$\varkappa' \cos(\sigma t + \varepsilon') - \varkappa \cos(\sigma t + \varepsilon) = \gamma \cos(\sigma t + w)$$

gesetzt worden. Die zur Entwicklung gelangende Gezeitenschwingung ist in diesem Falle die Superposition von vier stehenden Wellen; ihre physikalische Bedeutung ist aus dem früheren Fall sogleich ersichtlich.

Das erste Glied in jeder Gleichung stellt wieder die Mitschwingungsgezeit des ganzen Kanals mit der äußeren Gezeitenbewegung dar; sie ist unabhängig von den eventuell wirkenden periodischen Kräften. Die selbständige Gezeit besteht aus drei Teilkomponenten.

Wir können zum leichteren Verständnis uns vorstellen, daß in den einzelnen Kanalteilen folgende Kraftkomponenten wirken:

	im I. Teil	II. Teil	III. Teil
die Kräfte, wie angenommen:	$(\varkappa, \varepsilon)$	$(\varkappa', \varepsilon')$	$(\varkappa, \varepsilon)$
oder, was dasselbe ist	$(\varkappa, \varepsilon)$	$(\varkappa, \varepsilon)$ und (γ, w)	$(\varkappa, \varepsilon)$, (γ, w) und $-(\gamma, w)$.

Die Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$, die längs des ganzen Kanals wirkt, gibt die selbständige Gezeitenkomponente erster Art; sie ist im zweiten Gliede der Gleichungen 11, 12 und 13 enthalten; da sie den ganzen Kanal umfaßt, ist in jeder Gleichung das Glied identisch. Im zweiten und im dritten Kanalteil wirkt weiters die Kraft (γ, w); diese zwei Kanalteile schwingen unter Einwirkung dieser Kraft derart, daß der erste Kanalteil gleichzeitig mitschwingt; das gibt eine selbständige Gezeitenkomponente zweiter Art für den zweiten und dritten Kanalteil zusammen; das dritte Glied in den früheren Gleichungen gibt diese Schwingungskomponente.

Endlich wirkt noch im dritten Kanalteil die Kraftkomponente $-(\gamma, w)$; dieser Kanalteil schwingt nun wieder unter Einwirkung dieser Kraft derart, daß der erste und zweite Kanalteil zusammen mitschwingen können; das gibt wieder eine selbständige Gezeitenkomponente zweiter Art, aber diesmal nur für den dritten Kanalteil allein. Das vierte Glied in den früheren Gleichungen gibt, wie man sich leicht überzeugen kann, diese vierte Welle.

Die selbständige Gezeit im mehrfach gebrochenen Kanal hat also eine äußerst komplizierte Form, und deshalb erstaunen wir jetzt nicht mehr, wenn wir in den Randmeeren bei etwas komplizierten orographischen Verhältnissen sehr verwickelte Gezeitenerscheinungen beobachten. Das Mitschwingen eines Kanalteiles mit den anderen spielt hiebei eine außergewöhnlich wichtige Rolle; da dieses Mitschwingen, wie wir wissen, von orographischen Verhältnissen des mitschwingenden Beckens abhängt, können die einzelnen Teile dieser selbständigen Gezeiten zweiter Art größere Hubhöhen aufweisen und dadurch zur Haupterscheinung werden. Es kann deshalb leicht vorkommen — solche Fälle könnten wir uns leicht zusammenstellen — daß die Gezeiten in einem Randmeer, namentlich was die Phase betrifft, mit jenen des äußeren Meeres nur wenig Ähnlichkeit besitzen und doch mit diesen innig zusammenhängen; ein solcher Fall scheint im Persischen Golfe vorzuliegen.

C. Zusammengesetzter Kanal wechselnder Breite und Tiefe.

Die eben durchgeführte Diskussion der Schwingungsgleichungen zusammengesetzter Kanäle gleichförmiger Tiefen- und Breitenverhältnisse gibt uns die Möglichkeit, die Schwingungen auch solcher Kanäle zu ermitteln, die in ihrer Längsrichtung wechselnde Breite und Tiefe besitzen. Wir müssen nur nach der Restmethode jede Schwingung, die zur Entwicklung gelangt, für sich berechnen und zum Schlusse alle Partialwellen zusammenfassen, um die schließliche, unter Einwirkung der periodischen Kräfte und der äußeren Gezeitenbewegung zur Ausbildung kommende Gezeitenschwingung zu erhalten. Wie im früheren, sei $b(x)$ die Breite und $S(x)$ die Querschnittfläche des Kanals an der Stelle x. Bei $x = m$ erfolge die erste Knickung des Kanals, bei $x = n$ die zweite; bei $x = l$ münde er in ein offenes Meer mit der Gezeitenbewegung $Z \cos(\sigma t + \zeta)$. Im ersten Kanalteil wirke in der Längsrichtung die periodische Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$, im zweiten die periodische Kraft $(\varkappa', \varepsilon')$, die wir wieder in

zwei Komponenten zerlegen können, nämlich $(\varkappa, \varepsilon)$ und (γ, ρ) und endlich im dritten die periodische Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$, die wir uns in die drei Komponenten $(\varkappa, \varepsilon)$, (γ, ρ) und $-(\gamma, \rho)$ zerlegt denken können.

Wir berechnen zunächst nach der v. Sterneck'schen Methode die Mitschwingungszeit des ganzen Kanals mit dem äußeren Meere nach den bekannten Gleichungen (siehe I. Teil, 4. Abschnitt C).

$$2\,\Delta\,\eta = \frac{4\,\pi^2}{g\,T^2}\,2\,\xi\,\Delta\,x \quad \text{und} \quad 2\,\xi = -\frac{1}{S\,(x)}\int_0^x 2\,\eta\,b\,(x)\,d\,x. \tag{14}$$

und stellen an der Mündung des Kanals ins freie Meer Übereinstimmung zwischen berechneter Hubhöhe und der dort beobachteten Hubhöhe Z nach den früher dargelegten Methoden her.

Sodann bestimmen wir die selbständige Gezeitenkomponente erster Art des ganzen Kanals für die periodische Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$ nach den Gleichungen (siehe I. Teil, p. 84).

$$2\,\Delta\,\eta_0 = \left[\frac{4\,\pi^2}{g\,T_\varkappa^2}\,2\,\xi + \frac{2\,\varkappa}{g}\right]\Delta\,x \quad \text{und} \quad 2\,\xi = -\frac{1}{S\,(x)}\int_0^x 2\eta\,b\,(x)\,d\,x. \tag{15}$$

und den Grenzbedingungen $\xi = 0$ für $x = 0$ und $\eta = 0$ für $x = l$.

Insoweit ist die Rechnung dieselbe, wie wenn der Kanal keine Knickungen hätte und in seiner Längsrichtung nur die eine periodische Kraft $(\varkappa, \varepsilon)$ wirken würde. Nun kommen noch die selbständigen Gezeitenkomponenten zweiter Art hinzu, und zwar schwingt der zweite und dritte Kanalteil unter der Einwirkung der Kraft (γ, ρ) derart, daß der erste Kanalteil hiebei mitschwingt. Die Schwingung im zweiten und dritten Kanalteil geht wieder nach den Gleichungen

$$2\,\Delta\,\eta_1 = \left[\frac{4\,\pi^2}{g\,T_\varkappa^2}\,2\,\xi + \frac{2\gamma}{g}\right]\Delta\,x \quad \text{und} \quad 2\,\xi = -\frac{1}{S\,(x)}\int_0^x 2\eta\,b\,(x)\,d\,x \tag{16}$$

vor sich; nur lauten jetzt die Grenzbedingungen:

Es muß für $x = l$ $\eta = 0$ sein und für $x = m$ muß $\frac{\xi}{\eta} =$ jener Verhältniszahl sein, die sich aus der Ermittlung von ξ und η nach den Gleichungen 14 ergibt. Durch allmähliches Probieren kann jene Verteilung von ξ und η im zweiten und dritten Kanal nach den Gleichungen 16 gefunden werden, die den Grenzbedingungen genügt; diese Verteilung liefert dann auch für ξ und für η ganz bestimmte Werte und durch diese Werte ist dann die durch die selbständige Gezeit des zweiten und dritten Kanalteils bedingte Mitschwingungsgezeit des ersten Kanalteils mittels der durch die Gleichungen 14 gefundenen Verteilung von ξ und η im ersten Kanalteil gegeben.

Auf ähnliche Weise ermittelt man die selbständige Gezeitenkomponente zweiter Art des dritten Kanalteils; die Wasserbewegung muß bei der Kraft $-(\gamma, \rho)$ den Gleichungen

$$2\,\Delta\,\eta_0 = \left[\frac{4\,\pi^2}{g\,T_\varkappa^2}\,2\,\xi + \frac{-2\gamma}{g}\right]\Delta\,x \quad \text{und} \quad 2\,\xi = -\frac{1}{S\,(x)}\int_0^x 2\eta\,b\,(x)\,d\,x \tag{17}$$

genügen und gleichzeitig den Grenzbedingungen:

für $x = l$ $\eta = 0$ und für $x = n$ $\frac{\xi}{\eta} =$ jener Verhältniszahl, die sich ergibt, wenn der innere Kanalteil, nunmehr der erste und zweite zusammen, zugleich mitschwingt. Wieder kann durch Probieren eine solche Verteilung von ξ und η für den dritten Kanalteil gefunden werden; die Werte am inneren Ende ergeben dann auch die numerische Verteilung der Mitschwingungsgezeit der inneren Kanalteile. Auf diese Art gelingt es, sämtliche Partialschwingungen auch für kompliziert gebaute Wasserbecken zu bestimmen; ihre Superposition gibt die unter Einwirkung der periodischen Kräfte entstehende Gezeitenwelle des Wasserbeckens.

5. Die Berechnung der einzelnen Partialschwingungen des betrachteten Nebenmeeres.

Nach der im letzten Abschnitt des vorhergehenden Kapitels dargelegten Methode wollen wir nun für jenes Wasserbecken, das durch den Persischen Golf, durch die Meerenge von Hormus und durch den Golf von Oman gebildet wird, die einzelnen Partialschwingungen berechnen. Zunächst müssen wir Amplitude und Phase der in der Richtung der einzelnen Kanalteile wirkenden periodischen Kräfte ermitteln. Als Winkel, den die mittlere Längsachse des Persischen Golfes mit der Meridianrichtung einschließt, findet man aus geographischen Karten etwa 40°. Die mittlere geographische Breite des Meeres ist $\varphi = 27°$. Gleichungen 31 und 32 des I. Teiles, 3. Abschnitt D (p. 27) ergeben dann für die in der Längsrichtung des Wasserbeckens wirkende periodische Kraft [1]

$$\varkappa = 1 \cdot 235 . 10^{-7} g . \; 0 \cdot 891 . 0 \cdot 731 \cos \frac{2\pi}{12} (t - 10^h) = 7 \cdot 875 . 10^{-7} \cos \frac{2\pi}{12} (t - 10^h).$$

Auf ähnliche Weise findet man für den Winkel, den die mittlere Längsachse der Meerenge von Hormus, jene des Meeresteils von ungefähr der Insel Kais bis zur Insel Hormus mit der Meridianrichtung einschließt, 113°; die mittlere geographische Breite ist $\varphi = 26°$. Aus diesen Werten ergibt sich die in der positiven Richtung der Längsachse dieses Meeresteils wirkende periodische Kraft zu:

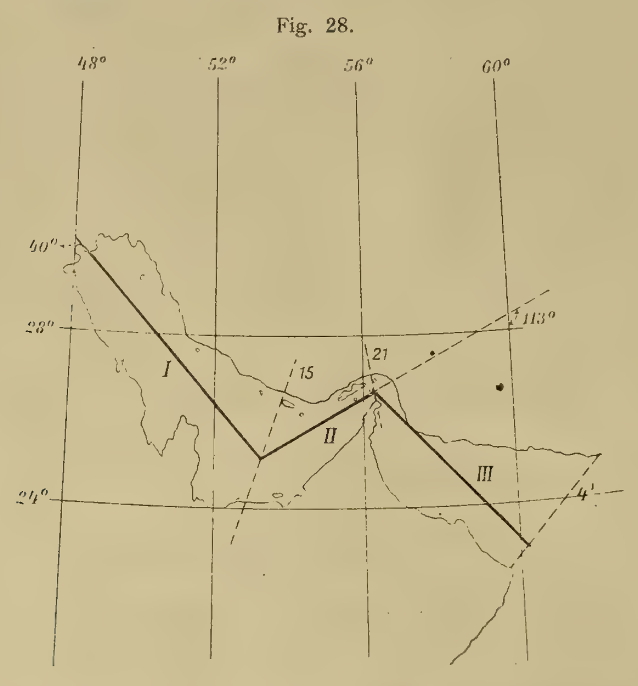
$$\varkappa' = 10 \cdot 183 . 10^{-7} \cos \frac{2\pi}{12} (t - 8 \cdot 6^h).$$

Als Differenz beider Kräfte folgt hieraus

$$\gamma = 6 \cdot 82 . 10^{-7} \cos \frac{2\pi}{12} (t - 7^h).$$

Da die mittlere Richtung des dritten Kanalteils, des Golfes von Oman, nahezu übereinstimmt mit jener des Persischen Golfes, wollen wir auch für diesen Teil des Wasserbeckens die in der Längsrichtung wirkende Kraft gleich $\varkappa$ annehmen.

Fig. 28.



Die Einteilung des betrachteten Meeresbeckens in drei Abschnitte ungefähr gleicher Längsrichtung ersieht man am besten aus folgender Skizze in Fig. 28. Der innerste Abschnitt, der sich nahezu mit

[1] Die Phase ist in Mondstunden angegeben.

dem Persischen Golfe deckt, reicht bis zum Querschnitt 15; von diesem bis zum Querschnitt 21 erstreckt sich der zweite Meeresabschnitt; er umfaßt den südöstlichen Teil des Persischen Golfes und die Meerenge von Hormus; der dritte Meeresabschnitt deckt sich mit dem Golfe von Oman. Der Fig. 28 kann man entnehmen, daß für die Wahl der Grenzen der einzelnen Abschnitte nicht viel Spielraum gegeben ist und daß die Einteilung eine ganz natürliche ist. Die Auffassung des betrachteten Nebenmeeres als drei Kanalteile wechselnder Breite und Tiefe hat nichts Gezwungenes und sie ermöglicht nach der dargelegten Methode die theoretischen Gezeiten desselben zu berechnen.

A. Die Mitschwingungsgezeit mit der äußeren Gezeitenbewegung.

Als erste und wichtigste Partialschwingung kommt das Mitschwingen der zum Teil abgeschlossenen Wassermassen des betrachteten Beckens mit der äußeren Gezeitenbewegung in Betracht. In Tabelle 4 ist nach den Ausmessungsergebnissen der Tabelle 3 und folgenden numerischen Gleichungen die Verteilung der horizontalen Verlagerung der Wasserteilchen und der Hubhöhen längs des ganzen Beckens unter der Annahme, daß am innersten, geschlossenen Ende die Hubhöhe $2\eta = +100\,cm$ beträgt, berechnet worden. Die Berechnung geschah nach der zweiten Annäherung, da die rasche Änderung der Hubhöhen eine genauere Ermittlung der einzelnen Bestimmungsstücke

$$2\Delta\eta = 9\cdot1408.10^{-5}\; 2\xi \text{ für die Querschnitte 0 bis 22,}$$

$$2\Delta\eta = 4\cdot0704.10^{-5}\; 2\xi \text{ für den Querschnitt } 22\cdot5$$

$$2\Delta\eta = 3\cdot0812.10^{-4}\; 2\xi \text{ für die Querschnitte } 1' \text{ bis } 4' \text{ und}$$

$$2\xi = -\frac{1}{S(x)}\, v\,(x_1).2\eta$$

notwendig machte.

Die Mitschwingungswelle zeigt nach Tabelle 4 zwei Knotenlinien; die erste liegt in der Nähe des Querschnittes 5, etwas südlicher davon, die zweite in der Mitte zwischen dem 15. und 16. Querschnitt; beide liegen also noch im Persischen Golfe; das ist eine Folge der großen Eigenperiode des betrachteten Meeresbeckens; von der zweiten Knotenlinie aus, gegen die Straße von Hormus nimmt die Hubhöhe ziemlich rasch zu, erreicht in der Meerenge selbst ein Maximum und nimmt dann in dem Golf von Oman etwas ab. An der Mündung des Golfes von Oman in den Indischen Ozean, beim Querschnitt 4′ muß aus Stetigkeitsgründen die Hubhöhe und Phase der Mitschwingungsgezeit mir der äußeren Gezeitenbewegung an dieser Stelle übereinstimmen. Aus dieser Grenzbedingung folgt die Phase und die absoluten Beträge der Hubhöhen.

Aus den harmonischen Konstanten der Halbtagsgezeiten M_2 und S_2 in Maskat und in Karatschi können wir uns orientieren über Hubhöhe und Phase der halbtägigen Gezeit zur Zeit der Syzygien an der Mündung des Golfes von Oman in den Indischen Ozean. Man findet zu Maskat $2\,(M_2 + S_2) = 174\,cm$, zu Karatschi $2\,(M_2 + S_2) = 212$; wir werden nicht viel fehlgehen, wenn wir für den Querschnitt 3′ $2\eta = 200\,cm$ ansetzen. Das Mittel der Hubhöhen der Hafenplätze zwischen den Querschnitten 3′ und 4′ ergibt etwa 220 *cm*; wenn wir bedenken, daß in diesen Zahlenwerten auch noch ein Anteil der ganztägigen Welle enthalten ist, so müssen wir die Annahme von 200 *cm* am Querschnitt 3′ als nach den Beobachtungen gerechtfertigt ansehen. Die Hafenzeit ist in den äußeren Teilen des Golfes $9^h 5$ Mondstunden. Mittels dieser aus den Beobachtungen abgeleiteten Konstanten wurde die in Tabelle 4 mitgeteilte Verteilung der absoluten Hubhöhen längs des ganzen Beckens sowie die Größe der horizontalen Verschiebung der Wasserteilchen für jeden Querschnitt berechnet; die Hafenzeit der einzelnen Schwingungsäste wurde zur leichteren Orientierung dazugesetzt.

Die ganzen Wassermassen der Meerenge von Hormus und des Persischen Golfes schwingen also kräftig mit der äußeren Gezeitenbewegung mit; die Hubhöhen dieser Welle sind beträchtlich und kommen an die Hubhöhen der äußeren Gezeit ziemlich nahe heran. Durch die Meerenge von Hormus

Tabelle 4.

Persischer Golf, Meerenge von Hormus und Golf von Oman, erste Partialschwingung: Mitschwingen mit der äußeren Gezeitenbewegung.

Querschnitt Nr.	q km^2	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm	2ξ m	Hubhöhe cm	Hafenzeit, Mondstunden
0	0	0	—	−100·—	0	249	
1	4·40	−1480	−13·53	86·47	3690	216	
2	12·03	−1832	−16·75	69·72	4650	173	9h5
3	18·05	−2140	−19·56	50·16	5320	126	
4	21·85	−2711	−24·78	25·38	6770	63	
5	23·19	−2512	−22·96	2·42	6270	6	
6	22·21	−2531	−23·13	− 20·71	6300	− 52	
7	19·44	−1042	−17·75	− 38·46	4850	− 96	
8	15·40	−1851	−16·92	− 55·38	4610	−138	
9	9·47	−1980	− 9·87	− 65·25	2690	−162	
10	1·44	− 140	− 1·28	− 66·53	350	−166	3h5
11	− 5·41	+ 595	+ 5·43	− 61·10	1480	−152	
12	−10·74	+ 918	+ 8·39	− 52·71	2280	−132	
13	−15·98	+1211	+11·07	− 41·64	3020	−104	
14	−20·70	+1441	+13·17	− 28·47	3610	− 71	
15	−23·16	+2239	+20·47	− 8·00	5580	− 20	
16	−22·96	+1995	+18·24	+ 10·24	4960	25	
17	−20·58	+1967	+17·97	+ 28·21	4920	70	
18	−16·96	+2039	+18·63	+ 46·83	5030	116	
19	−12·85	+2161	+19·75	+ 66·58	5380	166	
20	− 8·67	+1465	+13·39	+ 79·97	3650	198	
21	− 5·29	+1106	+10·11	+ 90·08	2760	224	9h5
22	− 2·63	+ 590	+ 5·40	+ 95·48	1470	237	
22·5	− 1·36	+ 336	+ 3·07	+ 98·55	839	246	
1'	+11·30	− 301	− 9·28	+ 89·27	750	223	
2'	+31·79	− 152	− 4·69	+ 84·58	379	211	
3'	+58·31	− 143	− 4·40	+ 80·18	356	200	
4'	+91·81	− 111	− 3·43	+ 76·75	276	192	

geht also keine Gezeitenenergie verloren; im Gegenteil, die orographischen Verhältnisse bedingen eine erneuerte Vergrößerung der Hubhöhen im innersten Teil, der gleichzeitig der seichteste ist. Die Mitschwingungsgezeit ist also sicherlich ein integrierender Bestandteil der zustande kommenden Gezeiten des betrachteten Nebenmeeres.

Wir gehen nun zu den anderen Partialschwingungen über.

B. Die selbständige Gezeitenkomponente erster Art.

Die selbständige Gezeitenkomponente erster Art für den ganzen betrachteten Meeresteil muß folgenden Gleichungen genügen:

$$2\,\Delta\,\eta = 9\cdot 1408.10^{-5}\,2\,\xi + \frac{2\,\varkappa}{g}\,\Delta\,x$$

für die Querschnitte 0 bis 22; hierin ist $\Delta\,x = 44\cdot 45.10^3\,m$ zu setzen;

$$2\Delta\eta = 4\cdot 0704.10^{-5}\, 2\xi + \frac{2\varkappa}{g}\Delta x$$

für den Querschnitt 22·5; hiebei ist $\Delta x = 22\cdot 22.10^3\, m$ und

$$2\Delta\eta = 3\cdot 0812.10^{-5}\, 2\xi = \frac{2\varkappa}{g}\Delta x$$

für die Querschnitte 1′ bis 4′; hiebei ist $\Delta x = 150.10^3\, m$.

$\varkappa$ ist die Amplitude der periodischen Kraft; im vorliegenden Falle $\varkappa = 7\cdot 875.10^{-7}$.

Die Phase der zur Ausbildung gelangenden Schwingung ist identisch mit der Phase der Kraft, in vorliegendem Falle 10^h. Außerdem muß die Grenzbedingung erfüllt werden, daß die Hubhöhe an der Mündung des Kanals in das offene Meer verschwindet.

Zur Vereinfachung der Rechnung können wir zunächst die Hubhöhe am geschlossenen Ende des Kanals berechnen, unter der Annahme, daß der Kanal überall gleiche Breite und Tiefe und eine Eigenperiode besitzt, die der für unser betrachtetes Meeresbecken ermittelten entspricht. Diese Hubhöhe ist $[\eta] = -\frac{h\nu\pi\varkappa}{l\sigma^2}\operatorname{tag}\nu\pi$. Für h wählen wir 39 m, setzen weiters $\nu = \frac{T_f}{T_\varkappa} = 1\cdot 75, \sigma = \frac{2\pi}{12\cdot 3.3600}$, dann erhält man für $[2\eta] =$ etwa 2 cm. Die Hubhöhe der selbständigen Gezeitenkomponente erster Art am Nordende des Kanals ist also sehr klein; sie verschwindet ja gänzlich, wenn $\sin\nu\pi = 0$ ist, oder wenn $\nu = 2$ ist; es ist ziemlich wahrscheinlich, daß die Wassermassen des Persischen Golfes, der Meerenge von Hormus und des Golfes von Oman als Ganzes betrachtet, eine Eigenperiode besitzen, die sehr nahe an 24 Stunden liegt; dann ist aber mit einer sehr kleinen selbständigen Gezeitenkomponente erster Art zu rechnen.

Es wurde zunächst die schrittweise Berechnung der Amplitudenverteilung nach den oben angeführten Gleichungen bei der Annahme, daß am Querschnitt 0 eine Hubhöhe $2\eta = 2\, cm$ zur Ausbildung gelangt, vorgenommen. Bei dieser Annahme wird die Hubhöhe das erstemal zwischen dem 7. und 8. Querschnitt, das zweitemal bereits zwischen dem 16. und 17. Querschnitt gleich Null. Da die selbständige Gezeitenkomponente erster Art bei Werten von $\nu > 1$ stets eine Knotenlinie im Innern des Meeresbecken aufweisen muß, während die zweite an der Mündung ins offene Meer liegt, ersehen wir, daß die Annahme $2\eta = 2\, cm$ am Nordende der Grenzbedingung nicht genügt. Wählt man größere Werte als 2 cm, so rückt die zweite Knotenlinie weiter gegen Norden, wir entfernen uns dadurch der zu erfüllenden Grenzbedingung immer mehr. Die Rechnung wurde deshalb noch für die Annahmen $2\eta = 1\, cm$ und $2\eta = 0\cdot 5\, cm$ wiederholt; die zweite Knotenlinie rückt hiebei immer mehr gegen die Mündung hinaus; für $2\eta = 0\cdot 5\, cm$ liegt sie beim Querschnitt 2′. Wir sind der richtigen Amplitudenverteilung schon ziemlich nahe. Da aber schon bei dieser Verteilung die Hubhöhen nur an zwei Querschnitten 2 cm überschreiten, an allen anderen aber kleiner als 2 cm sind, wurde von einer weiteren näheren Berechnung derselben abgesehen. Die Verteilung für $\eta = 0\cdot 5$, am Nordende steht in folgender Tabelle 5; wir können sie ohneweiters auch als Hubhöhenverteilung der selbständigen Gezeitenkomponente erster Art des betrachteten Gebietes auffassen, da eine genauere Berechnung nicht viel andere Werte liefern würde und eine größere Genauigkeit ganz illusorisch ist.

Die selbständige Gezeitenkomponente erster Art ist so klein, daß wir sie gegenüber der großen Mitschwingungsgezeit ganz vernachlässigen können. Diese Tatsache ist eine Folge der großen Eigenperiode des betrachteten Wasserbeckens, die nahe an 24 Stunden liegen muß.

C. Die selbständigen Gezeitenkomponenten zweiter Art.

Wir wollen nun zu jenen Gezeitenkomponenten übergehen, die bedingt sind durch die Knickung des betrachteten Meeresbeckens bei den Querschnitten 15 und 22. Durch sie werden selbständige Gezeitenkomponenten zweiter Art hervorgerufen, die wir nach der früher dargelegten Methode berechnen

Tabelle 5.

Die selbständigen Gezeitenkomponenten des Persischen Golfes, der Meerenge von Hormus und des Golfes von Oman.

Querschnitt	Selbständige Gezeitenkomponente erster Art					Selbständige Gezeitenkomponente zweiter Art: erster Teil					Selbständige Gezeitenkomponente zweiter Art: zweiter Teil				
	q *km*³	2ξ *m*	$2\Delta\eta$ *cm*	2η *cm*	Phase Mondstunden	q *km*³	2ξ *m*	$2\Delta\eta$ *cm*	2η *cm*	Phase Mondstunden	q *km*³	2ξ *m*	$2\Delta\eta$ *cm*	2η *cm*	Phase Mondstunden
0	0	— 0	—	0·5		—	—	—	+25		—	—	—	−209	
1	0·02	— 8	0·64	1·1		—	— 370	—	+22		—	3090	—	−182	
2	0·14	— 21	0·43	1·6		—	— 460	—	+17	1ʰ	—	3840	—	−148	1ʰ
3	0·30	— 35	0·40	2·0		—	— 530	—	+13		—	4470	—	−106	
4	0·50	— 62	0·15	2·1		—	— 680	—	+ 6		—	5700	—	— 53	
5	0·71	— 77	0·01	2·1	10ʰ	—	— 630	—	+ 1		—	5275	—	— 4	
6	0·92	— 105	−0·25	1·9		—	— 640	—	— 5		—	5316	—	+ 43	
7	1·10	— 110	−0·29	1·7		—	— 490	—	−10		—	4075	—	+ 81	
8	1·24	— 150	−0·65	1·0		—	— 460	—	−14		—	3870	—	+116	
9	1·35	— 154	−0·69	0·4		—	— 270	—	−16		—	2260	—	+137	
10	1·40	— 135	−0·52	— 0·2		—	— 40	—	−17	7ʰ	—	290	—	+140	7ʰ
11	1·40	— 151	−0·67	— 0·8		—	+ 150	—	−15		—	−1240	—	+128	
12	1·30	— 108	−0·28	— 1·1		—	+ 230	—	−13		—	−1920	—	+110	
13	1·17	— 87	−0·24	— 1·4		—	+ 300	—	−10		—	−2540	—	+ 87	
14	0·99	— 69	−0·09	— 1·3		—	+ 350	—	— 7		—	−3040	—	+ 60	
15	0·81	— 78	0·00	— 1·3		— 4·43	+ 428	+ 3·16	— 2·0		—	−4675	—	+ 17	
16	0·64	— 56	0·20	— 1·1	4ʰ	— 3·76	+ 327	+ 2·37	— 5·1		—	−4175	—	— 21	
17	0·52	— 48	0·28	— 0·8		— 3·06	+ 280	+ 1·94	— 7·5		—	−4130	—	— 59	
18	0·44	— 53	0·23	— 0·6		— 2·19	+ 263	+ 1·79	— 9·4		—	−4250	—	— 98	
19	0·40	— 67	0·10	— 0·5		— 1·45	+ 244	+ 1·61	−11·2		—	−4540	—	−140	
20	0·37	— 63	0·14	— 0·3		— 0·77	+ 130	+ 0·56	−12·8		—	−3170	—	−167	
21	0·36	— 76	0·02	— 0·3		— 0·25	+ 52	— 0·14	−13·4	7ʰ	+11·4	−2375	— 21·09	−188·3	1ʰ
22	0·35	— 79	−0·01	— 0·3		+ 0·13	— 29	— 0·44	−13·3		+16·1	−3620	— 15·88	−167·2	
22·5	0·35	— 86	−0·04	— 0·3		+ 0·30	— 74	— 4·38	−12·8		+18·1	−4500	−136·55	−151·3	
1'	0·30	— 9	+0·21	— 0·1		+ 1·65	— 44	— 3·45	— 8·4		20·1	— 537	— 14·44	— 14·8	
2'	0·27	— 1	+0·24	+ 0·1		+ 3·28	— 16	— 2·57	— 5·0		+20·2	— 96	— 0·89	— 0·3	
3'	0·24	0	+0·24	+ 0·4		+ 4·48	— 11	— 2·43	— 2·4		+20·0	— 49	+ 0·58	+ 0·6	
4'	0·08	0	+0·24	+ 0·6	10ʰ	+ 5·0	— 6	—	0·0		+20·0	— 24	—	0·0	

können. Die erste Gezeitenkomponente dieser Art entsteht dadurch, daß der zweite und dritte der Meeresteil, das ist die Meerenge von Hormus und der Golf von Oman, durch die periodische Kraft $\gamma = 6 \cdot 82 . 10^{-7} \cos \frac{2\pi}{12}(t - 7^h)$ angeregt, Schwingungen ausführt, die von solcher Form sein müssen, daß einerseits der erste Meeresteil mitschwingen kann, anderseits an der Mündung in das offene Meer die Hubhöhe gleich Null wird. Die erste Gezeitenkomponente zweiter Art besteht aus dieser Schwingung des zweiten und dritten Meeresteils, an der sich die Mitschwingungsgezeit des ersten Teiles noch anschließt.

Zur numerischen Berechnung dieser Schwingungen ist es praktischer, von der Mündung in das offene Meer, das ist vom Querschnitt 4′ aus, zurückzurechnen, da man die eine Grenzbedingung, daß beim Querschnitt 4′ die Hubhöhe $2\eta = 0$ ist, sofort aufnehmen kann; die Wassermenge q, die durch den Querschnitt 4′ hierbei hindurchgehoben wird, bleibt allerdings willkürlich. Die in der Richtung von innen nach außen wirkende periodische Kraft war $\gamma = 6 \cdot 8210^{-7} \cos \frac{2\pi}{12}(t - 7^h)$. Wenn wir von Querschnitt 4′ aus nach innen rechnen, drehen wir die positive Richtung der x-Achse um; die in der positiven Richtung der neuen x-Achse wirkende Kraft ist dann $-\gamma$; mit dieser müssen wir rechnen.

Die zur Berechnung benützten Gleichungen sind folgende:

$$2\Delta\eta = 3 \cdot 0812 . 10^{-4} . 2\xi - 20 \cdot 9 . 10^{-3} \text{ für die Querschnitte } 4' \text{ bis } 1'$$

$$2\Delta\eta = 4 \cdot 0704 . 10^{-5} . 2\xi - 3 \cdot 1 . 10^{-3} \text{ für den Querschnitt } 22 \cdot 5 \text{ und}$$

$$2\Delta\eta = 9 \cdot 1408 . 10^{-5} . 2\xi - 6 \cdot 2 . 10^{-3} \text{ für den Querschnitte 22 bis 15.}$$

$$2\xi = -\frac{1}{S(x)} \int_0^x 2\eta \; b(x) \; dx$$

Wenn der Wert von 2η negativ ist, ist die Phase der Schwingung 7^h, ist er positiv, dann ist die Phase 1^h.

Die eine Grenzbedingung können wir, wie bereits erwähnt, zu Beginn der Rechnung gleich erfüllen; die frei bleibende Größe q müssen wir aber dann so wählen, daß am Querschnitt 15 die andere Grenzbedingung erfüllt ist. Diese zweite Grenzbedingung lautet: ξ und η müssen am Querschnitt 15 solche Werte annehmen, daß ein Mitschwingen des ersten Meeresteils ermöglicht wird. Dies ist jedoch nur möglich, wenn das Verhältnis der Größen ξ und η gleich jenem ist, das sich aus den Mitschwingungen des ersten Meeresteils mit einer äußeren Gezeitenbewegung ergibt; dieses Verhältnis können wir aber der Tabelle 4 direkt entnehmen; dort finden wir für den Querschnitt 15 $\frac{2\xi}{2\eta} = \frac{+18 \cdot 2}{-8 \cdot 0} = -2 \cdot 27$ und diesen Wert muß auch das Verhältnis von ξ und η der selbständigen Gezeit zweiter Art am Querschnitt 15 haben. Die zweite Grenzbedingung lautet also: am Querschnitt 15 muß $\frac{2\xi}{2\eta} = -2 \cdot 27$ sein.

Durch Probieren können wir wieder jene Hubhöhenverteilung suchen, die einerseits den obigen Gleichungen, andrerseits den Grenzbedingungen genügt. Nach mehrfachen Versuchen, die alle ungünstig ausfielen, wurde für die Größe q am Querschnitt 4′ der Wert $+10\,km^3$ angenommen und die schrittweise Berechnung von 2ξ und 2η bis zum Querschnitt 15 gleich nach der zweiten Näherungsmethode durchgeführt.

Man findet am Querschnitt 15 $q = -12 \cdot 88$, $2\xi = 12 \cdot 42$ und $2\eta = -8 \cdot 43$; daraus folgt $\frac{2\xi}{2\eta} = -1 \cdot 48$. Das Vorzeichen stimmt mit jenem der Grenzbedingung überein, der numerische Wert des Verhältnisses ist aber zu klein; er wächst, wenn man kleinere Werte für q wählt, und die

Übereinstimmung mit der Grenzbedingung wird dadurch besser. Für $q = +5\,km^3$ ergeben sich am Querschnitt 15 die Werte $2\xi = 4\cdot28$, $2\eta = -1\cdot98$ und es wird $\frac{2\xi}{2\eta} = -2\cdot16$. Der geforderte Wert ist $-2\cdot27$; die Übereinstimmung ist wesentlich besser und wir begnügen uns mit dieser Genauigkeit. Die Verteilung der charakteristischen Größen dieser ersten selbständigen Gezeitenkomponente zweiter Art ist in Tabelle 5 angegeben. Da die Hubhöhe dieser Schwingung beim Querschnitt 15 den Wert $-2\,cm$ besitzt, können wir nun auch nach Tabelle 4 die dazugehörige Mitschwingungsgezeit des ersten Meeresteils berechnen, indem wir die dortigen Relativwerte mit dem Proportionalitätsfaktor $\frac{-1\cdot98}{-8} = 0\cdot2476$ multiplizieren; diese Werte wurden ebenfalls in die Tabelle 5 aufgenommen.

Der erste Teil der selbständigen Gezeitenkomponente zweiter Art ist nicht bedeutend, aber immerhin sind die Hubhöhen so groß, daß diese Gezeit im folgenden Berücksichtigung finden muß. Die Hubhöhenverteilung ist auffallend, ein Maximum von etwa 13 *cm* tritt in der Meerenge von Hormus ein, dann nimmt die Hubhöhe regelmäßig ab und erreicht am Querschnitt 15 den Wert von 2 *cm*; nur dem Umstande, daß in der Nähe dieses Querschnittes eine Knotenlinie der Mitschwingungsgezeit sich vorfindet, ist es zu verdanken, daß, durch die Wasserbewegung dieser Gezeit im zweiten und dritten Kanalteil angeregt, der erste Kanalteil mit etwas größeren Hubhöhen mitschwingt. Die Hubhöhe der Mitschwingungsgezeit im ersten Kanalteil wird dann noch etwas größer, erreicht beim Querschnitt 10 ein zweites Maximum, um dann bis zur Knotenlinie abzunehmen. Im innersten, seichten Meeresteil erreicht diese Gezeit schon beachtenswerte Hubhöhen. Südlich des Querschnittes 5 ist die Phase dieser Schwingung 7^h, nördlich davon 1^h.

Genau in derselben Weise wird der zweite Teil der selbständigen Gezeitenkomponente zweiter Art berechnet. Im dritten Kanalteil, das ist im Golf von Oman, wirkt in der Richtung der Längsachse des Meeres (positiv von außen nach innen) die periodische Kraft $+\gamma$. Unter ihrer Wirkung entsteht eine Gezeit, die wieder bestimmte Grenzbedingungen zu erfüllen hat; erstens muß beim Querschnitt 4′ $2\eta = 0$ sein; wir berücksichtigen dies gleich zu Beginn der Rechnung; zweitens muß beim Querschnitt 21, das ist das andere Ende des Kanals, $\frac{2\xi}{2\eta}$ jenen Wert, der sich aus dem Mitschwingen der inneren Meeresteile ergibt, annehmen. Aus Tabelle 4 findet man beim Querschnitt 21 $\frac{2\xi}{2\eta} = \frac{+1106}{+90\cdot08} = +12\cdot3$. Die zur Berechnung benötigten Gleichungen sind dieselben wie die früheren doch hat das Zusatzglied mit 10^{-3} nicht ein negatives, sondern ein positives Vorzeichen; denn in der Richtung der positiven x-Achse wirkt in diesem Falle die Kraft $+\gamma$.

Die Rechnung zur Bestimmung der Amplitudenverteilung dieser Schwingung wurde mit dem Anfangswerte $q = 5$, 10, 20, 25 km^3 durchgeführt, und zwar stets mit der zweiten Näherung. Für $q = 20$ wird die geforderte Verhältniszahl nahezu erreicht. Man findet beim Querschnitt 21 $q = +11\cdot4\,km^3$, $2\xi = -2375$ und $2\eta = -188\cdot3$, daher $\frac{2\xi}{2\eta} = +12\cdot6$; der geforderte Wert ist $+12\cdot3$. Mit dieser Genauigkeit begnügen wir uns.

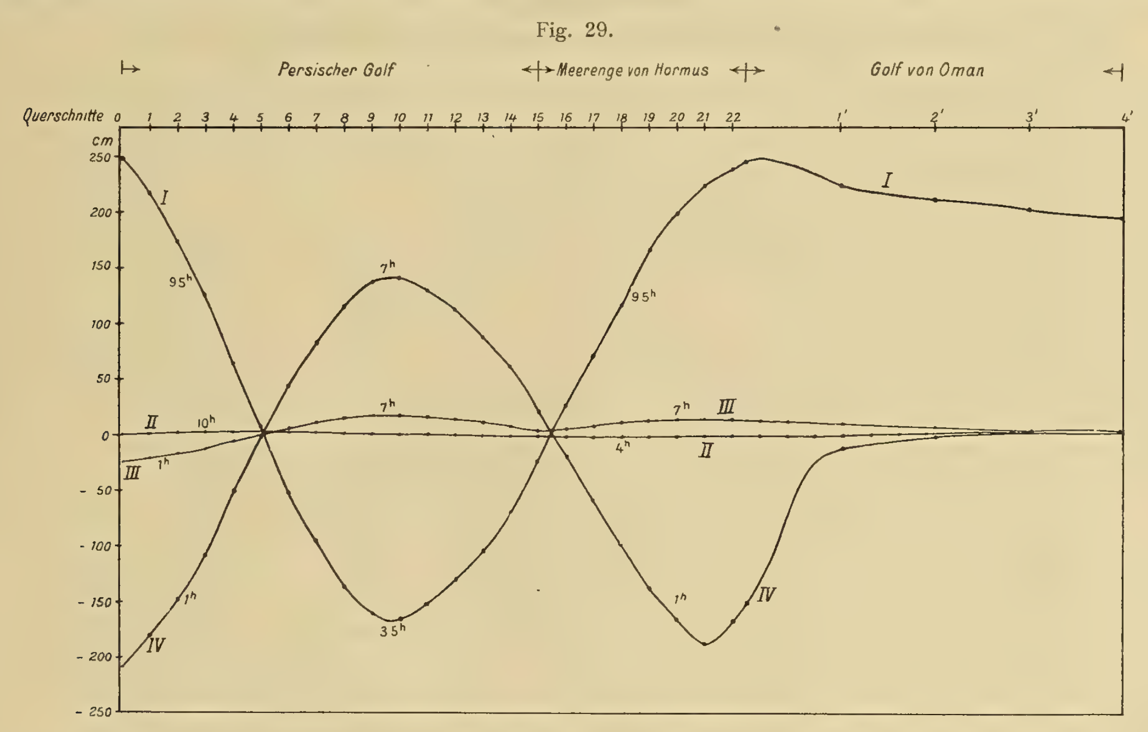
Die Verteilung der Hubhöhen und der anderen charakteristischen Größen sind wieder in Tabelle 5 für jeden Querschnitt ausführlich angeführt; am Querschnitt 21 erfolgt mit der gefundenen Hubhöhe Mitschwingen der inneren Meeresteile. Wir finden die Hubhöhenverteilung dieser Mitschwingungsgezeit, die den Persischen Golf und die Meerenge von Hormus umfaßt, aus Tabelle 4 wenn wir die dortigen Relativwerte mit dem Faktor $-\frac{188\cdot3}{90\cdot08} = 2\cdot092$ multiplizieren. Diese Werte fanden mit den entsprechenden Werten der horizontalen Verschiebung ebenfalls in Tabelle 5 Aufnahme.

Der zweite Teil der selbständigen Gezeitenkomponente zweiter Art wird dank der großen Amplitude, welche die erzwungene Schwingung am Nordende des dritten Kanalteiles erreicht, zu einer ganz bedeutenden Gezeitenwelle; die Hubhöhen erreichen in den Schwingungsbäuchen der stehenden Welle 140, beziehungsweise am Nordende 209 *cm*; die Knotenlinien der Schwingung sind identisch wie jene der Mitschwingungsgezeit, weil sie alle zwei noch innerhalb des Querschnittes 21 zu liegen kommen. Da die Rechnung im dritten Kanalteil ein negatives Vorzeichen von 2η ergab, ist die Phase dieses Schwingungsastes gemäß der Phase der periodischen Kraft 1^h; sie bleibt in der Mitschwingungsgezeit dieselbe bis zur ersten Knotenlinie zwischen dem 15. und 16. Querschnitt. Innerhalb der zwei Knotenlinien ist sodann die Phase 7^h, um nördlich der zweiten Knotenlinie, etwas südlich des Querschnittes 5, wieder 1^h zu werden.

D. Die Zusammensetzung der einzelnen Partialschwingungen.

Zur besseren Übersichtlichkeit wurden in Fig. 29 die einzelnen Partialgezeiten des betrachteten Wasserbeckens graphisch dargestellt. Aus dieser ersieht man sofort, daß die ausschlaggebenden Partialschwingungen die Mitschwingungsgezeit und der zweite Teil der selbständigen Gezeitenkomponente

Fig. 29.



Partialschwingungen des Persischen Golfes, der Meerenge von Hormus und des Golfes von Oman. (Hubhöhe in *cm*, Phase in Mondstunden.)

I Mitschwingungsgezeit.

II selbständige Gezeitenkomponente erster Art.

III und IV erster und zweiter Teil der selbständigen Gezeitenkomponente zweiter Art.

zweiter Art sind. Dem ersten Teil der selbständigen Gezeitenkomponente zweiter Art kommt nur eine Bedeutung als kleine Korrektur zum zweiten Teil dieser Komponente zu, und dies um so mehr, als die Phasen dieser Schwingungen stellenweise einander gleich, beziehungsweise um eine halbe Periode verschieden sind. Die selbständige Gezeitenkomponente erster Art spielt keine Rolle und wird vernachlässigt.

Die Zusammensetzung dieser Partialschwingungen gibt die theoretischen Gezeiten des betrachteten Nebenmeeres, insoweit diese aus Längsschwingungen bestehen. Es kommt vor allem auf die Summe der zwei stehenden Wellen I und IV in der Fig. 29 an, und da an den einzelnen Stellen dieser

Wellen Amplitude und Phase der Schwingungen verschieden sind, wird das Resultat der Superposition eine Welle sein, die längs des ganzen Kanals wechselnde Amplitude und Phase besitzt; die Superposition nimmt also stellenweise den Charakter einer komplizierten fortschreitenden Welle an, die scheinbar vom Indischen Ozean aus in den Golf von Oman, dann durch die Straße von Hormus in den Persischen Golf eindringt.

Da zufällig die Knotenlinien der zwei primären stehenden Wellen I und IV auf dieselben Querschnitte fallen, wird aber im Persischen Golf auch die resultierende Welle mehr den Charakter einer stehenden Welle mit zwei Knotenlinien besitzen, während in der Straße von Hormus mehr der Charakter der fortschreitenden Welle zum Vorschein kommt. Tabelle 6 gibt das Resultat der Zusammensetzung sämtlicher Partialschwingung; Fig. 30 gibt die graphische Darstellung davon.

Tabelle 6.

Theoretische Längsschwingung im Golf von Oman, in der Meerenge von Hormus und im Persischen Golf als Resultat der Zusammensetzung sämtlicher Partialschwingungen.

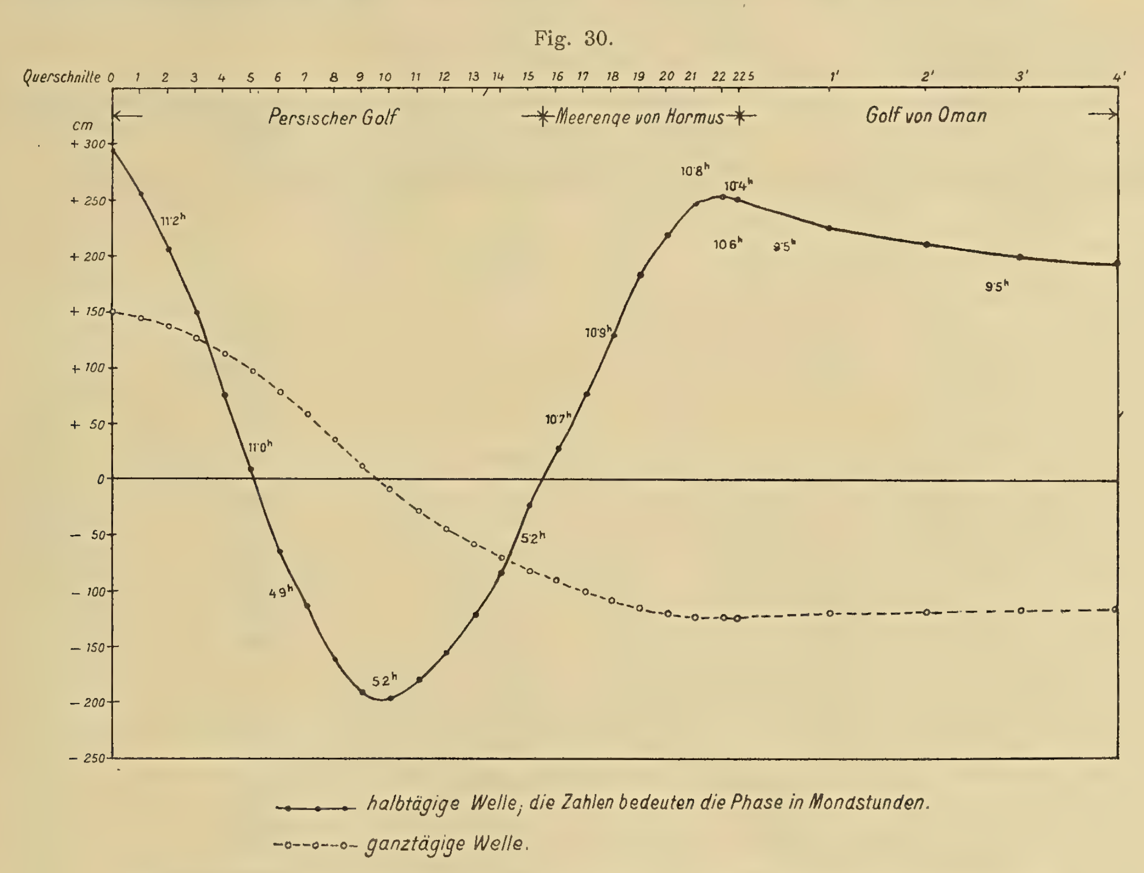
Querschnitt Nummer	Hubhöhe in *cm*	Phase in Mondstunden	Querschnitt Nummer	Hubhöhe in *cm*	Phase in Mondstunden
0	295	11·2	14	85	5·2
1	256	11·2	15	24	5·2
2	205	11·2	16	26	10·7
3	149	11·2	17	76	10·9
4	75	11·2	18	128	10·9
5	7	11·0	19	182	10·9
6	66	4·9	20	217	10·9
7	114	5·2	21	246	10·8
8	163	5·2	22	252	10·6
9	192	5·2	22·5	249	10·4
10	196	5·2	1'	222	9·5
11	180	5·2	2'	211	9·5
12	156	5·2	3'	200	9·5
13	122	5·2	4'	192	9·5

Aus beiden ersehen wir, daß im ganzen betrachteten Meeresteil eine Gezeitenschwingung von beträchtlicher Amplitude zur Ausbildung gelangt. Vom Golf von Oman ausgehend nimmt die Hubhöhe zunächst gegen die Meerenge von Hormus etwas an Größe zu; die Phase der Welle bleibt aber nahezu ungeändert. In der Meerenge selbst erreicht die Hubhöhe ein Maximum von 250 *cm*; innerhalb der Straße selbst aber erfolgt eine rasche Änderung der Phase, indem sich dieselbe anfangs rasch um nahezu eine Stunde, auf 10^h4, dann um kleinere Beträge bis auf 10^h9 in den verschiedenen Teilen derselben verspätet. Der weitere, innere Teil des Nebenmeeres, das ist so ziemlich der ganze Persische Golf, weist eine Welle mehr stehenden Charakters mit zwei Knotenlinien auf; die Phase des mittleren Schwingungsastes ist 5^h2, des südlichen 10^h9, des nördlichen 11^h2.

Die Verteilung der Hubhöhen in der Meerenge von Hormus und im Persischen Golf, die Ausbildung der zwei Knotenlinien, die Phasenverteilung in der Meerenge und im inneren Meeresteil weisen im Zusammenhang mit den aus den Beobachtungen abgeleiteten Tatsachen darauf hin, daß wir auf dem richtigen Wege zur hydrodynamischen Erklärung des komplizierten Gezeitenphänomens dieses

Nebenmeeres sind. Schon jetzt können wir aber behaupten, daß einerseits das Mitschwingen der Wassermassen des ganzen Nebenmeeres mit der äußeren Gezeitenbewegung, anderseits das Mitschwingen des inneren Meeresteils mit der selbständigen Gezeitenkomponente des Golfes von Oman eine ausschlaggebende Rolle beim Zustandekommen der Gezeiten der Meerenge von Hormus und des Persischen Golfes bilden.

Fig. 30.



Schwingungsformen des Golfes von Oman, der Straße von Hormus und des Persischen Golfes.

6. Der Einfluß der Erdrotation auf die einzelnen Partialschwingungen.

Gleichzeitig mit den vertikalen Erhebungen des Meeresspiegels aus der Ruhelage finden bekanntlich in den Längsschwingungen auch periodische horizontale Verschiebungen der Wasserteilchen statt, die für jede Gezeitenkomponente im früheren Abschnitt ebenfalls berechnet wurden und die wir mit 2ξ bezeichnet haben. Durch die ablenkende Kraft der Erdrotation erleidet aber das sich in der Horizontalen mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegende Wasserteilchen eine Ablenkung nach rechts. Wie im ersten Teil ausführlich erläutert wurde, entstehen durch den Einfluß der Erdrotation auf die Bewegung des Wassers in der Längsschwingung Querschwingungen, die sich der primären Längsschwingung überlagern und eine komplizierte Verteilung der Flutstundenlinien hervorrufen. Im ersten Teil wurde auch angegeben, wie man in erster Annäherung die Wirkung der Erdrotation in Rechnung ziehen kann.

Im folgenden wollen wir auch hier für die berechneten Längsschwingungen die dazugehörigen Querschwingungen unter der die Rechnung wesentlich vereinfachenden Annahme ermitteln, daß die einzelnen Querschnitte überall gleichförmige Tiefe besitzen. Diese Annahme dürfte für den ganzen Persischen Golf, wo die Querschwingungen eine große Amplitude besitzen, nicht wesentlich unrichtige Werte liefern, da die bathymetrische Kurve der einzelnen Querschnitte von einem Rechteck im allgemeinen nicht stark abweicht. Bedeutet ν das Verhältnis der freien Periode des Querschnittes zur Periode der Kraft, b die Breite des Querschnittes, 2ξ die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen

Tabelle

Querschwingungen der einzelnen Querschnitte,

Querschnitt Nr.	T_f Eigenperiode des Querschnitts; Stunden	$\nu = \frac{T_f}{T_\varkappa}$	$\frac{4\omega b \sin\varphi}{T_\varkappa g \nu} \operatorname{tg} \nu \frac{\pi}{2}$	Horizontale Verschiebungen der Längsschwingung 2ξ in *m*	
				1. von der Mitschwingungsgezeit	2. von der selbständigen Gezeitenkomponente zweiter Art
0	—	—	—	—	—
1	10·5	0·83	$29 \cdot 0.10^{-5}$	3690	3160
2	7·4	0·60	15·2	4650	4300
3	6·9	0·56	15·1	5320	5000
4	6·7	0·54	13·6	6770	6380
5	6·4	0·52	13·8	6270	5905
6	6·3	0·51	13·4	6300	5950
7	5·1	0·41	10·4	4850	4565
8	6·2	0·50	11·3	4610	4330
9	7·5	0·61	17·5	2690	2530
10	9·1	0·74	26·6	350	330
11	4·9	0·39	9·9	1480	1390
12	6·0	0·48	13·6	2280	2150
13	6·3	0·51	16·1	3020	2840
14	9·2	0·75	31·9	3610	3390
15	8·7	0·71	24·5	5580	5095
16	8·4	0·68	23·1	4960	4505
17	6·8	0·55	15·3	4920	4410
18	4·8	0·39	9·6	5080	4510
19	3·9	0·31	7·2	5380	4780
20	2·8	0·22	5·8	3650	3200
21	1·3	0·11	3·1	2760	2425
22	1·3	0·11	3·1	1470	3590
22·5	1·1	0·09	2·4	839	4430
1'	1·3	0·11	6·0	750	500
2'	1·1	0·09	9·8	379	80
3'	1·0	0·08	10·8	356	40
4'	1·2	0·10	16·6	276	20

7.

bedingt durch die ablenkende Kraft der Erdrotation.

Hubhöhe und Phase der Querschwingungen						Zusammensetzung beider Querschwingungen		
2 η von 1 *cm*	Phase, Mondstunden		2 η von 2 *cm*	Phase, Mondstunden		Hubhöhe *cm*	Phase, Mondstunden	
	Ostküste	Westküste		Ostküste	Westküste		Ostküste	Westküste
—			—			—	—	—
107			91			121	8·0h	2·0
71			65			82	8·2	2·2
81			76			96	8·2	2·2
92			87			109	8·2	2·2
86	6h5	0h5	82	10h	4h	102	8·2	2·2
84			80			100	8·2	2·2
51			47			59	8·2	2·2
52			49			61	8·2	2·2
47			44			55	8·2	2·2
9			9			11	8·2	2·2
15			14			18	2·2	8·2
31			29			37	2·2	8·2
49			47			59	2·2	8·2
115			108			136	2·2	8·2
136			124			159	2·1	8·1
114	0h5	6h5	104			133	2·1	8 1
75			67			87	2·1	8·1
49			44	4h	10h	57	2 1	8·1
39			34			45	2·1	8·1
21			18			24	2·1	8·1
8			7			9	2·1	8·1
5			11			11	3·1	9·1
2			11			11	3·6	9·6
4			3			6	5·4	11·4
4	6h5	0h5	1			5	6·5	0·5
4			0			4	6·5	0·5
5			0			5	6·5	0·5

in der Längsschwingung an diesem Querschnitt, so ist $2\eta = \frac{4\omega b \sin\rho}{T_{\varkappa} g \nu} \operatorname{tag} \nu \frac{\pi}{2} \cdot 2\xi$ die Hubhöhe der Querschwingung an den beiden Enden des Querschnittes; mittels dieser Gleichung erhalten wir also die Hubhöhe der Querschwingung an der Ost-, beziehungsweise Westküste des Nebenmeeres. In der Straße von Hormus entspricht der Ostküste die Nordküste, der Westküste die Südküste. Die Phase der Querschwingung ist um drei, beziehungsweise neun Stunden von jener der Längsschwingung verschieden.

Tabelle 7 enthält alle zur numerischen Berechnung der Querschwingungen notwendigen Bestimmungsstücke für jeden Querschnitt. Wir sehen zunächst, daß die Eigenperiode der Querschnitte stellenweise recht ansehnliche Beträge erreicht; besonders im Persischen Golf übersteigt sie gewöhnlich $6\cdot15^h$, so daß ν meistens größer als $^1/_2$ ist. Dies hat zur Folge, daß die Hubhöhe der Querschwingung auf dynamischem Wege eine wesentliche Vergrößerung erfährt. In der Straße von Hormus und dann noch mehr im Golf von Oman sinkt die Eigenperiode infolge der immer größer werdenden Tiefen des Meeres rasch auf kleine Werte herab; im Golf von Oman findet man die Eigenperiode der Querschnitte zu 1^h, so daß $\nu = 0\cdot1$ wird. Die Bedeutung der Querschwingungen tritt deshalb stark zurück, um so mehr als auch die Größe 2ξ hier wesentlich kleinere Werte besitzt, als im inneren Teile des betrachteten Nebenmeeres.

Die Hubhöhe der Querschwingungen wurde für beide in Betracht kommenden Längsschwingungen getrennt berechnet. Tabelle 7 enthält für beide die Hubhöhenverteilung längs des ganzen Kanals, sowie die aus dem Vorzeichen von 2ξ bestimmte Phase der Querschwingung an der Ost- und Westküste. In den numerischen Werten 2ξ der selbständigen Gezeitenkomponente wurde sowohl der erste wie der zweite Teil berücksichtigt, was um so leichter war, als beide Komponenten dieselbe Phase besitzen.

Die Hubhöhen der Querschwingungen sind in beiden Fällen recht beträchtlich. Im nördlichen Teile des Persischen Golfes erreichen beide Querschwingungen Hubhöhen von über 80 *cm*; auch im südlichen Teil des Persischen Golfes, in der Umgebung des Querschnittes 15 ist die Hubhöhe der Querschwingungen sehr groß; 100 *cm* werden wiederholt überschritten. Daß solche Querschwingungen das Bild der Gezeitenerscheinung wesentlich zu modifizieren imstande sind, leuchtet wohl von selbst ein.

Beide Querschwingungen verschiedener Phase setzen sich zu einer einzigen Querschwingung zusammen; Phase und Hubhöhe derselben fanden ebenfalls in Tabelle 7 Aufnahme.

Bis zum Querschnitt 10 hat die resultierende Querschwingung an der Ostküste die Phase 8^h2, die Westküste 2^h2. Die Hubhöhe ist in der Umgebung der Knotenlinie der Längsschwingung, das ist bei den Querschnitten 4 und 5 am größten und erreicht hier Werte zwischen 90 und 110 *cm*. Südlich des Querschnittes 10 bis etwa zum Querschnitt 20, das ist bis zum Nordeingang in die Meerenge von Hormus, hat die Querschwingung an der Ostküste die Phase etwa 8^h1, die Westküste hingegen 2^h1. Auch in diesem Teil ist die Hubhöhe wieder in der Umgebung der Knotenlinie der Längsschwingung, das ist in der Nähe der Querschnitte 15 und 16 am größten und erreicht hier Werte zwischen 130 und 160 *cm*.

Im Meeresteil außerhalb des Querschnittes 20 nimmt die Hubhöhe der Querschwingungen rasch ab. Die Phase verspätet sich sowohl an der Ost- wie an der Westküste immer mehr; die Bedeutung der Querschwingungen tritt gegenüber der bedeutenden Amplitude der Längsschwingungen hier völlig zurück.

Da bei beiden Knotenlinien der Längsschwingung die Hubhöhe der Querschwingungen maximale Beträge erreicht und diese verhältnismäßig sehr groß sind, wird die Superposition der Längsschwingung und der entsprechenden Querschwingungen, wie vorauszusehen ist, die Veranlassung zur Ausbildung zweier kräftiger, entgegen dem Sinne des Uhrzeigers verlaufender Amphidromien geben.

7. Die theoretischen Gezeiten im Persischen Golf, in der Meerenge von Hormus und im Golf von Oman, Vergleich mit den Beobachtungstatsachen.

Die Zusammensetzung der Längsschwingung mit der Querschwingung ergibt für jeden Querschnitt Hubhöhe und Phase der theoretischen Gezeit; das Ergebnis dieser Superposition steht in Tabelle 8. Sehen wir uns zunächst die Hafenzeiten, die hier wieder in gewöhnliche Zeit umgerechnet wurden, an und beginnen wir im äußeren Teil des Golfes von Oman, so findet man zunächst, daß der ganze Golf von Oman bis zum Eingang in die Meerenge von Hormus zur gleichen Zeit Hochwasser aufweist; die Hafenzeit ist etwa 9^h7, gleich der Hafenzeit der Meeresteile vor dem Golfe.

In der Meerenge von Hormus erfolgt nun in der ganzen Breite derselben eine rasche Verspätung der Hafenzeit: in den mittleren Teilen der Straße findet man etwa 11^h als Hafenzeit, mehr gegen den Golf von Oman zu 10^h5, mehr gegen die südöstlichen Teile des Persischen Golfes hingegen, besonders auf der Ostseite 11^h5. Den Flutstunden nach hat hier die Gezeitenwelle den Charakter einer vom Golf von Oman aus eindringenden, fortschreitenden Welle. Der ganze Persische Golf wird von zwei mächtigen Amphidromien eingenommen; das Zentrum der südlichen liegt etwa in der Mitte der Linie, welche die Insel Kais mit der Insel Sir-Beni-Yas in der Südwestecke des Persischen Golfes verbindet; das Zentrum der nördlichen hingegen westlich von Abuscher, ebenfalls in der Mitte des Beckens. Den Hafenzeiten an der Küste entsprechend umläuft die Gezeitenwelle in etwa 24 Stunden entgegen dem Sinne des Uhrzeigers den ganzen Persischen Golf; daß ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit jedoch an vielen Stellen mit den beobachteten Meerestiefen sich nicht vereinigen läßt, ist zu erwarten; ist ja die zustande kommende Welle doch im Wesen keine fortschreitende im gewöhnlichen Sinne des Wortes, sondern der Effekt der Superposition eine verhältnismäßig größere Zahl von stehenden Wellen.

Die theoretischen Hubhöhen haben unserer einzigen Annahme gemäß im äußeren Teile des Golfes von Oman einen Wert von etwa 200 *cm*; gegen die Meerenge von Hormus nimmt die Hubhöhe etwas zu, am Eingang in dieselbe erreicht sie Werte von etwa 220 *cm*; sie nimmt innerhalb der Straße noch weiter erheblich zu, und zwar als Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf der Ost-, beziehungsweise Nordseite mehr als an der West-. beziehungsweise Südseite; der maximale Wert dürfte mit etwa 270 *cm* bei den Inseln Hormus und Larek erreicht werden. Dann nimmt die Hubhöhe wieder allmählich ab und erreicht ein Minimum beiderseits des Amphidromiezentrums; an der Ostküste ist das Minimum niedriger als an der Westküste. Hierauf nimmt die Hubhöhe wieder zu und nimmt maximale Werte im Zwischengebiet beider Amphidromien an. Im Gebiete der nördlichen Amphidromie ist die Verteilung der Hubhöhen dieselbe; geringere Werte beiderseits des Amphidromiezentrums und maximale am Nordende; hier erreicht die Gezeit bei Springflut eine Höhe von nahezu 3 *m*.

Fig. 32 gibt die theoretische Verteilung der Flutstundenlinien, Fig. 31 hingegen die aus den Beobachtungen abgeleitete. Eine bessere Übereinstimmung zwischen Beobachtungstatsachen und Theorie war nicht zu erwarten! Bis auf eine geringe Verschiebung der Flutlinien in der Südwestecke des Persischen Golfes, wo übrigens nur wenige Beobachtungen zur Verfügung stehen, sind die Figuren, wenn wir bedenken, daß die mitgeteilten Hafenzeiten auf höchstens 0·1 Stunden genau sind, identisch. Die hydrodynamische Theorie der Gezeiten erklärt alle die »sonst unverständlichen« Hafenzeiten, vor allem die auffallende Verteilung derselben in der Meerenge von Hormus sowie die beiden Amphidromien im inneren Teil des betrachteten Nebenmeeres. Wir brauchen uns mit der Besprechung der zwei Figuren 31 und 32 nicht weiter aufzuhalten, schon ihr erster Anblick zeigt uns, daß die hydrodynamische Theorie, zunächst was die Hafenzeiten betrifft, eine richtige Erklärung des Gezeitenphänomens des Persischen Golfes und der Meerenge von Hormus ergibt.

Auch die Hubhöhenverteilung ist in den Grunderscheinungen mit jener der Beobachtungen identisch; die maximalen Hubhöhen in der Meerenge, die Abnahme bei Kais und Ab-Bida, die neuerliche

Tabelle 8.

Theoretische Gezeiten im Persischen Golf, in der Meerenge von Hormus und im Golf von Oman.

Querschnitt Nr.	Ost-, bezw. Nordküste		West-, bezw. Südküste	
	Hubhöhe *cm*	Hafenzeit Stunden	Hubhöhe *cm*	Hafenzeit Stunden
0	295	11·5^h	295	11·5^h
1	279	10·7	295	0·4
2	219	10·8	224	0·4
3	178	10·4	177	0·5
4	132	9·5	124	1·1
5	103	8·5	101	2·2
6	111	7·2	128	3·3
7	129	6·3	129	4·4
8	174	6·1	174	4·6
9	200	5·8	200	4·8
10	196	5·4	196	5·2
11	181	5·1	180	5·5
12	158	4·7	151	5·8
13	136	4·4	143	6·8
14	194	3·4	164	7·4
15	161	2·3	161	8·1
16	130	1·7	141	8·7
17	109	0·6	121	9·6
18	135	0·0	145	10·4
19	191	11·7	198	10·8
20	217	11·4	226	11·0
21	244	11·1	246	11·0
22	244	11·0	261	10·8
22·5	234	10·8	257	10·6
1'	213	9·6	226	9·7
2'	212	9·7	212	9·7
3'	199	9·7	200	9·7
4'	192	9·7	192	9·7

geringe Zunahme im Zwischengebiet der Amphidromien, die kleine Hubhöhe von Abu-schehr und schließlich das rasche Anwachsen im seichten Nordteil auf 3 *m*, alles dies sind Erscheinungen, die auch die theoretische Verteilung aufweist. Nur die absoluten Beträge sind manchmal größer, manchmal kleiner als die beobachteten; aber dies ist leicht erklärlich; erstens stammen die Beobachtungen meistens nur von vereinzelten kleineren Beobachtungsserien, und diese können in einem so seichten Meere, wie es der Persische Golf ist, leicht gestört sein; weiters ist die von uns gegebene Theorie ja doch nur eine erste Annäherung an die Wirklichkeit. Drittens kommt übrigens noch ein Faktor hinzu, der von ausschlaggebender Bedeutung ist und der viele der scheinbaren kleinen Umstimmigkeiten in den Hubhöhen erklärt.

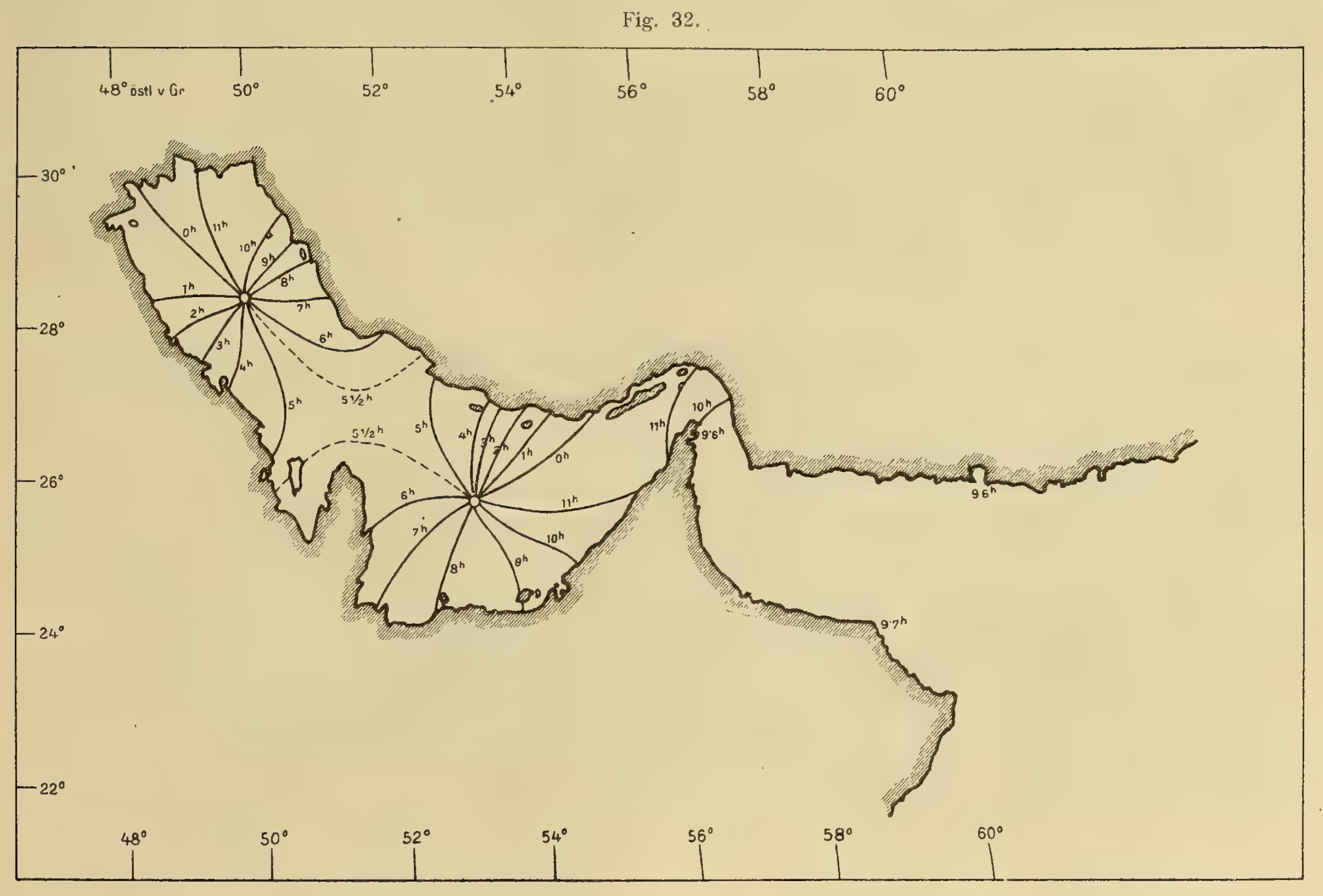
Wie im folgenden Abschnitt gezeigt werden wird, erreichen die ganztägigen Gezeiten im Persischen Golf und in der Meerenge von Hormus ganz ansehnliche Beträge. Die tatsächlichen Gezeiten sind aber die Überlagerung der ganz- und halbtägigen Gezeiten; sind erstere größerer Amplitude, wird

Fig. 31.



Flutstundenlinien im Persischen Golf und in der Straße von Hormus nach den Beobachtungen.

Fig. 32.



Flutstundenlinien im Persischen Golf und in der Straße von Hormus nach der hydrodynamischen Theorie.

die tägliche Ungleichheit ziemlich bedeutend und da als Hubhöhe bei Springflut zumeist die höchste Erhebung über Kartennull genommen wird, steckt in ihr noch ein Teil der ganztägigen Amplitude. Je nach der Zeit, von welcher diese Beobachtungen stammen, kann dieser Anteil der ganztägigen Welle bald größer bald kleiner sein.

Er ist aber nicht überall gleich groß, denn die ganztägige Welle besitzt, wie wir hören werden, ungefähr in der Nähe von Bahrein eine Knotenlinie. Alle diese Momente sind in der gegebenen Theorie der halbtägigen Gezeiten nicht enthalten; schon aus diesem Grunde müssen wir mit der gefundenen Übereinstimmung zwischen Beobachtungen und Theorie vollständig zufrieden sein.

Tabelle 9 enthält eine Gegenüberstellung zwischen beobachteten und berechneten Hafenzeiten und Hubhöhen der meisten Orte im betrachteten Nebenmeere. Trotzdem die Änderungen der Hafenzeiten eine so große Mannigfaltigkeit aufweisen, sind die Unterschiede gegenüber den theoretischen Werten klein; nur Al-Bida und Abu-Thabi zeigen eine Verspätung der beobachteten Hafenzeit um 2 Stunden. Vielleicht bedingt die äußerst seichte südwestliche Bucht eine kleine Störung in der Ausbildung dieses Astes der Amphidromie. Der Unterschied zwischen beobachteter und berechneter Hubhöhe ist in den allermeisten Fällen positiv; nach den früheren Auseinandersetzungen war dies zu erwarten; fügen wir der theoretischen Hubhöhe der Halbtagsgezeiten etwa 50 % der Hubhöhe der Eintagsgezeiten hinzu, so wird, wie die Tabelle 9 (p. 113) zeigt, die Übereinstimmung wesentlich besser. Dies beweist, daß tatsächlich die ganztägige Gezeit eine Vergrößerung der Hubhöhen bedingt, die wir nicht der halbtägigen Gezeitenkomponente zuschreiben dürfen.

Wir gelangen zum Schlusse, daß die gegebene hydrodynamische Theorie der Halbtagsgezeiten des Persischen Golfes und der Meerenge von Hormus, die nur die einzige Annahme enthält, daß im Indischen Ozean vor dem Golfe von Oman eine Gezeitenbewegung bestimmter Hubhöhe und Phase vorhanden ist, das komplizierte Gezeitenphänomen in ausgezeichneter Weise zu erklären vermag. Die Gezeiten der erwähnten Meeresteile hängen innig zusammen mit den Gezeiten des Golfes von Oman und können vom hydrodynamischen Standpunkte aus nur verstanden werden, wenn man alle drei Meeresteile als einen in den Indischen Ozean mündenden Kanal komplizierter Breiten- und Querschnittverhältnisse auffaßt. Vor allem die Änderung der Längsrichtung in der Meerenge von Hormus bedingt bei der selbständigen Gezeitenkomponente Schwingungen, die besonders auf die Phasenzeit der inneren Meeresteile von großem Einflusse sind; das Mitschwingen der Wassermassen des ganzen Kanals mit der äußeren Gezeitenbewegung im Indischen Ozean wird dadurch nicht gestört.

In erster Linie sind die Gezeiten des Persischen Golfes und der Meerenge von Hormus die Überlagerung der Mitschwingungsgezeit mit dem äußeren Meere und der Mitschwingungsgezeit mit der selbständigen Gezeitenkomponente des Golfes von Oman. Zu diesen stehenden Längsschwingen treten noch die durch die ablenkende Kraft der Erdrotation bedingten Querschwingungen, die mit den ersteren zusammen im Persischen Golf die interessante Anordnung der Flutstundenlinien zu zwei Amphidromien hervorrufen. So sehen wir, daß die Gezeiten auch dieses Nebenmeeres, so verwickelt sie sich auf den ersten Blick darstellen, nichts anderes sind als die vom physikalischen Standpunkte natürliche Tatsache, daß die Wassermassen eines jeden Wasserbeckens, das mit einem offenen Meere mit bestimmter Gezeitenbewegung in Verbindung steht, unter der Einwirkung periodischer Störungskräfte bestimmte stehende Schwingungen auszuführen gezwungen werden; diese können je nach den Gestaltverhältnissen des Wasserbeckens mit den dadurch zu erfüllenden Grenzbedingungen in ihrer Superposition die kompliziertesten Anordnungen der Flutstundenlinien der Hubhöhen ergeben.

Tabelle 9.

Vergleich zwischen Beobachtungen und Theorie für einzelne Orte im Golf von Oman, in der Meerenge von Hormus und im Persischen Golf.

Ort	Hafenzeit		Unterschied	Hubhöhe in *m*		Unterschied	theor. Hubhöhe + 50% der ganztägigen Hubhöhe	Unterschied
	beob.	theor.		beob.	theor.			
Sur	9·5	9·7	— 0·2	2·0	2·0	0·0	2·0	— 0·0
Maskat	9·5	9·7	— 0·2	2·1	2·0	+ 0·1	2·5	— 0·4
Chahbar	9·5	9 7	— 0·2	2·7	2·0	+ 0·7	2·6	+ 0·1
Djask	9·5	9·6	— 0·1	2·7	2·2	+ 0·5	2·8	— 0·1
Gubbel Ghasira	9·5	9·8	— 0·3	3·0	2·4	+ 0·6	3·0	0·0
Chor Kawi	10·3	10·7	— 0·4	2·4	2·6	— 0·2	3·1	— 0·7
Kishm	10·9	11·1	— 0·2	3·7	2·4	+ 1·3	3·1	+ 0·6
Chor-esch-Schem	10·7	11·1	— 0·4	2·6	2·6	0·0	3·2	— 0·5
Hedjam	11·5	11·4	+ 0·1	3·4	2·2	+ 1·2	2·8	+ 0·6
Khaiman	11·7	11·0	+ 0·1	2·1	2·4	— 0·3	3·0	— 0·9
Basidu	0·0	11·9	+ 0·1	3·0	1·9	+ 1·1	2·5	+ 0·5
Keis	0·5	1·5	— 1·0	2·3	1·3	+ 1·0	1·8	+ 0·5
Nakheila	7·5	7·9	— 0·4	2·4	1·1	+ 1·3	1·6	+ 0·8
Abu-schehr	7·7	8·7	— 1·0	1·8	1·2	+ 0·6	1·8	0·0
Charag	8·0	9·7	— 1·7	2·0	1·7	+ 0·3	2·3	— 0·3
Fao	11·5	11·5	0·0	3·0	3·0	+ 0·0	(3·7)	— (0·7)
Koweit	0·3	0·2	+ 0·1	2·7	2·9	— 0·2	(3·6)	— (0·9)
al Manamah	5·5	5·0	+ 0·5	2·1	2·0	+ 0·1	2·1	0·0
Bahrein	6·1	5·2	+ 0·9	1·8	2·0	— 0·2	2·0	— 0·2
El-Bida	8·5	6·5	+ 2·0	1·8	1·5	+ 0·3	1·8	0·0
Abu-Thabi	12·0	10·0	+ 2·0	2·1	1·5	+ 0·6	2·0	0·0

8. Die eintägigen Gezeiten im Persischen Golf und in der Meerenge von Hormus.

Aus den harmonischen Konstanten von Maskat und Karatschi der Tabelle 2 kann man entnehmen, daß die eintägige Komponente der Gezeit der Meeresteile vor dem Eingange in den Golf von Oman ziemlich bedeutend ist. Erreicht doch in diesen Teilen des Indischen Ozeans der Index der Gezeiten den hohen Wert von 0·7!

Es ist zu erwarten, daß die periodische Wasserbewegung der Meerenge von Hormus und des Persischen Golfes auch durch eintägige Gezeitenkomponente beeinflußt, um so mehr als die Eigenperiode des betrachteten Meeresteils ungefähr 24 Stunden beträgt, also mit der Periode der erzeugenden Kraft nahezu übereinstimmt. In folgender Tabelle 10 wurde das Mitschwingen der Wassermassen des Persischen Golfes, der Meerenge von Hormus und des Golfes von Oman mit einer äußeren Gezeitenbewegung eintägiger Periode nach der gewöhnlichen Methode untersucht; als Periode wurde jene der eintägigen Partialtide K_1, die 23·9 Stunden beträgt, gewonnen. Die Gleichungen, die zur Berechnung benützt wurden, sind folgende:

$2\,\Delta\,\eta = 2\cdot 4172.10^{-5}\, 2\,\xi$ für die Querschnitte 1 bis 22

$2\,\Delta\,\eta = 1\cdot 2086.10^{-5}\, 2\,\xi$ für den Querschnitt 22·5 und $2\,\xi = -\frac{1}{S\,(x)}\, v\,(x_1)\, 2\,\eta.$

$2\,\Delta\,\eta = 8\cdot 1503.10^{-5}\, 2\,\xi$ für die Querschnitte 1′ bis 4′

Tabelle 10.

Eintägige Gezeiten des Persischen Golfes, der Meerenge von Hormus und des Golfes von Oman.

	q *km³*	$2\,\xi$ *m*	$2\,\Delta\,\eta$ *cm*	$2\,\eta$ *cm*	Hubhöhe in *cm*	Phase in Graden
0	0	0	—	100·—	+ 150	
1	4·86	— 1637	— 3·95	99·05	+ 144	
2	14·33	— 2183	— 5·27	90·78	+ 136	
3	23·58	— 2791	— 6·74	89·04	+ 126	
4	32 15	— 3989	— 9·63	74·41	+ 112	220°
5	39·61	— 4291	— 10·36	64·05	+ 96	
6	46·02	— 5245	— 12·67	51·38	+ 77	
7	50·78	— 5072	— 12·25	39·13	+ 59	
8	54·11	— 6504	— 15·71	23·42	+ 35	
9	56·40	— 6428	— 15·51	7·90	+ 12	
10	55·44	— 5365	— 12·93	— 5·03	— 7	
11	54·89	— 6032	— 14 54	— 19·57	— 29	
12	53·06	— 4535	— 10·93	— 30·40	— 46	
13	49·66	— 3765	— 9·07	— 39·47	— 59	
14	44·30	— 3084	— 7·43	— 46·90	— 71	
15	37·71	— 3649	— 8·79	— 55·69	— 84	
16	30·49	— 2647	— 6·38	— 62·07	— 93	
17	22·99	— 2147	— 5·17	— 67·24	— 102	
18	16·59	— 2511	— 6·05	— 73·29	— 110	40°
19	11·33	— 1905	— 4·59	— 77·88	— 116	
20	6·91	— 1168	— 2·81	— 80·69	— 121	
21	3·71	— 775	— 1·87	— 82·56	— 124	
22	1·34	— 301	— 0·73	— 83·29	— 125	
12·5	0·25	— 53	— 0·06	— 83·35	— 125	
1′	— 11·01	+ 294	+ 2·39	— 80·96	— 121	
2′	— 30·12	+ 144	+ 1·18	— 79·78	— 120	
3′	— 55·81	+ 137	+ 1·12	— 78·66	— 118	
4′	— 89·40	+ 108	+ 0·88	— 77·78	— 117	

Maskat hat als Amplitude der vereinigten Eintagsgezeiten $K_1 + O$ 59 *cm*; die Hubhöhe der eintägigen Gezeiten müssen wir also am Querschnitt 3′ zu 118 *cm* annehmen. Die mittlere Kappazahl der vereinigten K_1- und O-Tide beträgt 40°. Mittels dieser Werte kann man aus der relativen Verteilung der Hubhöhen in Tabelle 10 die absoluten Beträge derselben für jeden Querschnitt und die Phase der eintägigen Gezeit bestimmen; sie stehen in den beiden letzten Kolonnen der Tabelle 10.

Die eintägige Gezeit besitzt im betrachteten Nebenmeer eine Knotenlinie zwischen dem 9. und 10. Querschnitt, d. i. auf einer Linie, die sich von Bahrein nach Tahiri hinzieht; nördlich dieser Linie nimmt die Hubhöhe rasch zu und erreicht am Nordende ein Maximum mit 150 *cm*; gegen Süden zu

ist die Zunahme wesentlich langsamer; erst im südöstlichen Teile des Persischen Golfes, wo sich dieser zu verengen beginnt und in der Straße von Hormus steigt die Hubhöhe zu einem relativ hohen Werte an; am Ende der Meerenge wird ein zweites Maximum von 125 *cm* erreicht. Dann ist aber die Abnahme im Golf von Oman sehr gering. Die Phase des südlichen Schwingungsastes beträgt 40°, jene des nördlichen um 180° mehr, d. i. 220°. Figur 30 enthält die graphische Darstellung der Hubhöhenverteilung der eintägigen Gezeit.

Aus den großen Amplituden, die diese am Nord- und Südende des Persischen Golfes besitzt, erkennt man die Bedeutung, die der Eintagsgezeitenkomponente im Gezeitenphänomen dieses Nebenmeeres zukommt. Nach der Hubhöhenverteilung zu urteilen, wird die tägliche Ungleichheit im südlichen Teil des Persischen Golfes und in der Meerenge von Hormus sowie im Nordteil des Persischen Golfes groß ausfallen, im mittleren Teil desselben werden aber die nahezu gleich hohen Halbtagsgezeiten überwiegen. Aus der Verteilung ist auch zu entnehmen, daß, wenn im Nordteil des Golfes das erste Tagesmaximum der Halbtagsgezeit größer als das zweite ist, im südlichen Teil des Golfes und in der Meerenge das zweite Tagesmaximum höher als das erste ist und umgekehrt. Außerdem ist es höchst wahrscheinlich, daß durch die Einwirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die horizontalen Verschiebungen der eintägigen Längsschwingung die Knotenlinie sich in eine entgegen dem Sinne des Uhrzeigers verlaufende, 24stündige Amphidromie auflöst. Sie wurde hier nicht näher berechnet, da uns keine Beobachtungen zur Verfügung stehen, um die Ergebnisse der theoretischen Berechnung an der Erfahrung zu prüfen; es besteht aber kein Zweifel, daß bei einer harmonischen Analyse der Flutbeobachtungen einiger Häfen des Persischen Golfes in den K-Gliedern der ganztägigen Welle auch diese Amphidromie tatsächlich zum Vorschein kommen würde.

Die einzigen Werte der harmonischen Konstanten, die uns zur Verfügung stehen, sind jene von Abu-schehr; sie stehen in Tabelle 2. Nach diesen hat die vereinigte K_1- und O-Tide eine Amplitude von $29 + 20 = 49$ *cm*; die Hubhöhe der ganztägigen Gezeit beträgt im Maximum zu Abu-schehr 98 *cm*; die mittlere Phase beider Tiden ist 262°.

Abu-schehr liegt zwischen dem 4. und 5. Querschnitt; für einen Ort zwischen diesen gibt Tabelle 10 als Hubhöhe der ganztägigen Gezeitenkomponente 98 *cm* und als Phase 220°.

Die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie ist vollauf befriedigend, vor allem wenn man bedenkt, daß wir die zur Ausbildung gelangende Amphidromie nicht berücksichtigt haben. Da diese größeren Einfluß auf die Phase als auf die Hubhöhe haben dürfte, wird erstere weniger gut mit den Tatsachen stimmen; wir finden dies tatsächlich. Als Hubhöhe der Halbtagsgezeit bei Springflut ergab die hydrodynamische Theorie für Abu-schehr 120 *cm*; der theoretische Eintagsindex der Gezeiten ergibt sich daraus zu $120:98 = 1\cdot22$, während aus den Beobachtungen $1\cdot14$ folgt. Die Theorie erklärt also auch das auffällige Anwachsen des Eintagsindex im Golf von Oman, wo er $0\cdot6$ bis $0\cdot7$ beträgt, auf nahezu das doppelte im nördlichen Teil des Persischen Golfs.

Die wenigen Beobachtungen, die über die eintägige Gezeitenkomponente im Persischen Golfe vorhanden sind, fügen sich alle gut in die gegebene Theorie ein. Die großen Eintagsgezeiten des betrachteten Meeres sind vor allem darauf zurückzuführen, daß die Wassermassen des Kanals, der vom Persischen Golf und von der Meerenge von Hormus gebildet werden und denen eine Eigenperiode von etwa 24 Stunden zukommt, kräftig mit der großen Eintagskomponente der Gezeiten des Indischen Ozeans mitschwingen können.

9. Zusammenfassung und Schluß.

Die ziemlich komplizierten Gezeitenerscheinungen der Meerenge von Hormus und des Persischen Golfes werden vollständig verständlich, wenn wir uns auf den Standpunkt der hydrodynamischen Theorie der Gezeiten stellen. Genau so wie im kleinen jede nur zum Teil abgeschlossene Wassermasse auf eine äußere periodische Gezeitenbewegung mit bestimmten, von den eigenen orographischen

Verhältnissen abhängigen Schwingungen reagiert, so auch im großen die ausgedehnten Wassermassen der Nebenmeere. So ist die halb- und ganztägige Gezeit des offenen Meeres vor der Mündung des Nebenmeeres in erster Linie das ausschlaggebende Moment für die Ausbildung der Gezeiten des Nebenmeeres. Zu diesem Mitschwingen kommt noch die durch die direkte Einwirkung der periodischen Anziehungskräfte von Sonne und Mond auf die Wassermassen des Nebenmeeres bedingte selbständige Gezeitenkomponente. Auch diese hängt wesentlich von der orographischen Beschaffenheit des Wasserbeckens ab.

Die Gezeiten des in diesem Teile behandelten Nebenmeeres sind nichts anderes als die Überlagerung der durch die äußere Gezeitenbewegung bedingten Mitschwingungsgezeit und der selbständigen Gezeitenkomponente, die in vorliegendem Falle durch die Richtungsänderung der Längsachse des Nebenmeeres in der Meerenge von Hormus eine besondere Form annimmt. Alle auffälligeren Tatsachen lassen sich durch diese zwei stehenden Wellen in völlig befriedigender Weise erklären.

Äußerst lehrreich ist der Vergleich mit den Gezeiten des benachbarten Roten Meeres, die wir im II. Teil behandelt haben. Beide münden in das Arabische Meer, das vor den entsprechenden Mündungen der betrachteten Nebenmeere nahezu dieselbe Form der Gezeitenbewegung besitzt. Und wie ungleich sind die Gezeitenerscheinungen in beiden Meeren! Hier, im Roten Meere, im Hauptwesen mehr eine einfache Schaukelbewegung um eine Knotenlinie in der Mitte des Beckens, dort, im Persischen Golf zwei kräftige Amphidromien, eine im Nordteil, die andere im Südteil desselben. Hier extreme Halbtagsgezeiten, dort schon deutliche Eintagstiden, besonders im Nordteil und im Südteil des Golfes. Hier trotz der großen Tiefe des Meeres kleine, kaum 1 *m* erreichende Hubhöhen, dort bei Tiefen, die nur selten 50 *m* überschreiten, stellenweise ein Tidenhub von nahezu 3 *m*. Wir ersehen daraus, welch ausschlaggebenden Einfluß die Breiten- und Tiefenverhältnisse der Rand- und Nebenmeere auf die in ihnen zur Ausbildung gelangenden Gezeiten sind. Noch etwas folgt aus den gegebenen hydrodynamischen Theorien der Gezeiten beider Nebenmeere, was für die Theorie von Interesse ist. Wir fanden in beiden Fällen bei der Erklärung mit stehenden Wellen das Auslangen. In der Grundlage der Theorien wurden keine fortschreitenden Wellen aufgenommen. Die Superposition stehender Wellen mit verschiedener Phase und Hubhöhe führt aber örtlich, wie in der Meerenge von Hormus und in der Straße von Bab-el-Mandeb zu Gezeiten, die den Charakter von fortschreitenden Wellen besitzen. Wir dürfen uns aber bei solchen Wellen nicht wundern, wenn ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit den gegebenen Tiefen des Meeres an den betreffenden Stellen nicht in Einklang zu bringen sind, wie es zumeist der Fall ist. Ihre Auflösung in stehende Wellen lehrt erst der Zusammenhang mit den Tiefenverhältnissen des Nebenmeeres.

Inhalt.

DIE GEZEITENERSCHEINUNGEN IN DER ADRIA.

I. TEIL.

DIE BEOBACHTUNGSERGEBNISSE DER FLUTSTATIONEN

BEARBEITET VON

WILHELM v. KESSLITZ,

KONTREADMIRAL d. R.

MIT 21 TEXTFIGUREN.

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 16. MAI 1918.

Einleitung.

Über die im Adriatischen Meer sehr komplizierten Gezeitenerscheinungen haben wir bis vor wenigen Jahren noch keine erschöpfende Darstellung und Erklärung gehabt. Die Grundlage alles dessen, was wir bisher über Flut und Ebbe in der Adria wußten, bildeten die Arbeiten der seinerzeit von der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften eingesetzten Ständigen Kommission für die Adria, die ihre Tätigkeit von 1869 bis 1877 entfaltet hatte. Die damals neben den schon in Betrieb gestandenen Mareographen von Triest und Pola in den Stationen Fiume, Zara, Lesina und Korfu ins Leben gerufenen Flutmessungen lieferten ein recht wertvolles Material, das zunächst betreffs des Jahrganges 1869 von Professor A. Prey zur Berechnung der Hafenzeiten und mittleren halbmonatlichen Ungleichheiten und zur Ermittlung der Niveauschwankungen und mittleren Wasserhöhen für die genannten Hafenplätze herangezogen worden war.[1]

Aus den auffällig ungleichmäßigen Änderungen der Hafenzeiten von SE gegen NW — die Zunahme der Hafenzeit von Korfu bis Lesina ergab sich zu 23^m, jene von Lesina bis Triest zu ungefähr 5 Stunden — erkannte Prey schon damals, daß die Adriatische Flut ihre Entstehung nicht einer vom Mittelländischen Meer eintretenden Welle verdanken dürfte, wofür auch der Umstand sprach, daß in

---

[1] Dritter Bericht der »Ständigen Kommission für die Adria«, Wien 1873, p. 85—124.

der ganzen Adria die Hochwasser unmittelbar auf die Tage des Voll- oder Neumondes fallen, also das Alter der Flut gleich Null ist.

Aus dieser Zeit stammt auch die erste Bearbeitung Adriatischer Flutbeobachtungen auf wissenschaftlicher Grundlage durch den ehemaligen Professor an der k. u. k. Marineakademie E. Stahlberger.[1] Anregung hiezu gab die Wahrnehmung, daß für die Reede von Fiume die mit der Hafenzeit und halbmonatlichen Ungleichheit[2] berechneten Hochwasserzeiten mit den tatsächlich beobachteten wenig befriedigend übereinstimmten. Auf Grund seiner über 3 Jahrgänge der Fiumaner Beobachtungen ausgedehnten Untersuchungen gelangte Stahlberger unter der Voraussetzung, daß die periodischen Bewegungen des Meeres auf der Reede von Fiume den Formeln der Laplace'schen Theorie entsprechen, zu einer 4gliederigen Gleichung von der Form:

$$h = a \frac{\cos^2 \delta_\mu}{\rho_\mu^3} \cos \frac{\pi}{6} (t_\mu - \alpha) + b \frac{\sin 2 \delta_\mu}{\rho_\mu^3} \cos \frac{\pi}{12} (t_\mu - \beta) +$$
$$+ c \frac{\cos^2 \delta_\sigma}{\rho_\sigma^3} \cos \frac{\pi}{6} (t_\sigma - \gamma) + d \frac{\sin 2 \delta_\sigma}{\rho_\sigma^3} \cos \frac{\pi}{\pi} (t_\sigma - \Delta),$$

worin h die Höhe des Wasserspiegels über Mittelwasser zur wahren Sonnenzeit t_σ und Mondzeit t_μ, δ_μ und δ_σ die Deklinationen, ρ_μ und ρ_σ die Entfernungen von Sonne und Mond von der Erde, t_μ die Zeit in Mondstunden, gezählt vom Momente der oberen Kulmination des Mondes und t_σ die wahre Zeit bedeuten. $a, b, c, d, \alpha, \beta, \gamma$ und Δ repräsentieren die dem betreffenden Hafenort eigentümlichen und aus der Beobachtung abzuleitenden Konstanten.

Stahlberger faßte somit das Gezeitenphänomen in Fiume als eine Interferenzerscheinung von 4 Wellen auf, von denen 2 solaren und 2 lunaren Ursprunges seien. Die Schwingungszeiten dieser Wellen sollten bei den solaren Oszillationen 12, beziehungsweise 24 Sonnenstunden, bei den lunaren Schwingungen 12, beziehungsweise 24 Mondstunden betragen. Später hat Professor Klekler die im gleichen Zeitabschnitte angestellten Flutbeobachtungen in Triest, Pola, Zara und Lesina nach der Methode von Stahlberger bearbeitet und für diese Stationen ebenfalls die Flutkonstanten abgeleitet.[3]

Da in Stahlbergers Gleichung die Deklinationen und die Entfernungen der fluterzeugenden Gestirne als Veränderliche vorkommen — Größen, die sich mit der Zeit nicht proportional ändern — und überdies die Winkel unter den Cosinuszeichen wahre Sonnen- beziehungsweise Mondstunden enthalten, ist es einleuchtend, daß diese Formeln für die Vorausberechnung des Gezeitenablaufes wenig bequem sind und hat eine praktische Anwendung der Stahlberger'schen Methode meines Wissens nur insoferne stattgefunden, als 1886 Direktor F. Osnaghi auf Grund der Klekler'schen Flutgleichung für Triest eine graphische Methode zur Vorausberechnung der Tiden ausarbeitete, was insoferne wohl kein glücklicher Griff gewesen ist, als zu dieser Zeit die harmonische Analyse der Gezeiten bereits vollkommen durchgebildet war und man damit in englischen und indischen Häfen sehr gute Erfolge erzielt hatte. Osnaghi's Verfahren, das noch bis vor kurzer Zeit am Maritimen Observatorium in Triest in Verwendung geblieben ist, hat Adjunkt Dr. F. Hopfner in seiner Abhandlung über die Gezeiten von Triest näher beschrieben.[4]

Außer den seither ununterbrochenen Flutaufzeichnungen in Triest und Pola sind in den letzten Jahren auf Anregung des seither verstorbenen Generalmajors Dr. Robert von Sterneck an mehreren

---

[1] Die Ebbe und Flut auf der Reede von Fiume von E. Stahlberger, Professor an der k. u. k. Marineakademie. Veröffentlicht im 3. Bericht der »Ständigen Kommission für die Adria« an die Kais. Akademie der Wissenschaften, Wien, 1873.

[2] Richtiger: »mittleren halbmonatlichen Ungleichheit.«

[3] Die Ebbe und Flut im Meeresrayon von Lesina und Pola von Professor K. Klekler. IV. Bericht der »Ständigen Kommission für die Adria« und »Die Ebbe und Flut im Meeresrayon von Zara und Triest« von Direktor K. Klekler. V. Bericht der »Ständigen Kommission für die Adria«, Wien 1878 und 1880.

[4] Die Gezeiten im Hafen von Triest von Dr. F. Hopfner. Aus den Sitzungsberichten der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathem.-naturw. Klasse; Bd. CXXII, Abt. IIa, November 1913.

Häfen der heimischen Küste Flutregistrierungen angestellt worden. Diese Beobachtungen dienten anfangs zur Kontrolle des Präzisionsnivellements und standen dafür registrierende Flutmesser durch längere Zeit in Funktion. Später hatten sowohl Generalmajor v. Sterneck als dessen Sohn, Universitätsprofessor Dr. Robert v. Sterneck mittels transportabler Flutmesser an zahlreichen Punkten der österreichisch-ungarischen und italienischen Küste Beobachtungen angestellt, die sich zumeist über eine halbe Lunation oder über einen noch kürzeren Zeitraum erstreckten und für die Berechnung von Hafenzeit und Fluthöhe verwendet wurden, um damit das Fortschreiten der Flutwelle im Adriatischen Meere verfolgen zu können.

Über die Ergebnisse dieser Beobachtungen sind einige Aufsätze in den Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes und in den Sitzungsberichten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften erschienen.[1]

Zu den erwähnten Aufzeichnungen waren in den letzten Jahren noch hinzugekommen die fortlaufenden, sich über ein Jahr erstreckenden Registrierungen mittels transportabler Flutmesser vom k. u. k. Hydrographischen Amte in Sebenico (Kanal von S. Antonio), Zara und Meljine zur Reduktion von Lotungen gelegentlich Aufnahmsarbeiten der k. u. k. Kriegsmarine in Mittel- und Süddalmatien.

Von der Überzeugung ausgehend, daß eine erschöpfende Darstellung und Erklärung der Gezeitenvorgänge im Adriatischen Meere nur durch Eingehen auf die die Flutkurven zusammensetzenden Elementartiden möglich sei, hatte der Verfasser 1909 mit der harmonischen Analyse eines Jahrganges der Flutaufzeichnungen in Pola begonnen und hierüber 1910 die erste Studie in den Mitteilungen aus dem Gebiete des Seewesens veröffentlicht Die im selben Jahr ins Leben getretene internationale ozeanographische Erforschung der Adria hat nun mitgewirkt, daß nicht nur neue Beobachtungsstationen errichtet wurden, sondern auch, daß die harmonische Analyse auf sämtliche Flutstationen ausgedehnt worden ist, von denen eine längere Beobachtungsreihe zur Verfügung stand.

Bei der ersten Zusammenkunft österreichischer und italienischer Ozeanographen und Biologen in Venedig im Mai 1910 wurde ein eingehendes Studium der Gezeitenerscheinungen der Adria in das Arbeitsprogramm der Adriakommission aufgenommen, die Aufstellung selbstregistrierender Flutmesser in den Häfen von Comisa und Tajer (Insel Grossa) sowie auf der landfernen Insel Pelagosa zum Beschluß erhoben und die Durchführung der mareographischen Arbeiten — vorbehaltlich höherer Genehmigung — dem Hydrographischen Amte der k. u. k. Kriegsmarine übertragen.

Mit Ausnahme der Triester Beobachtungen (1911), deren Analyse Dr. Hopfner in Wien bewirkt hat, ist daher die harmonische Analyse von sämtlichen Adriatischen Flutstationen durch den Verfasser, der als Mitglied der permanenten österreichischen Adriakommission fungiert, ausgeführt worden.[2]

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden im Nachfolgenden stationsweise behandelt.

---

[1] Hievon besonders hervorzuheben: Das Fortschreiten der Flutwelle im Adriatischen Meere von Generalmajor Dr. Robert v. Sterneck. Aus den Sitzungsberichten der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Klasse; Bd. CXVII, Abt. IIa, Jänner 1908.

[2] Die Ausmessung der Registrierblankette, die Eintragungen der stündlichen Ablesungen in die Monatsformulare und das Absummieren derselben haben zum Teil Maschinenbauingenieur d. R. A. Villány, zum Teil das Kanzleipersonal der Abteilung Geophysik vom Hydrographischen Amte bewirkt, die Zeichnungen wurden vom Marinekanzlisten J. Paris angefertigt.

Beobachtungsergebnisse.

I. Pola.

$\varphi = 44° 51'8$ N; $\lambda = 13° 50'8$ E. v. Gr.

Flutmesser: Selbstregistrierender Gezeitenpegel System Seibt-Fuess.

Aufstellungsort: Flutmesserhäuschen vom k. u. k. Hydrographischen Amte am Kopfe des Molo Nr. 6 im k. u. k. Seearsenale.

Beobachtungsjahr für die harmonische Analyse: 1. Jänner 1906 bis 6. Jänner 1907.

Fortgesetzte Flutaufzeichnungen in Pola beginnen 1868. Im 1. Berichte der ständigen Kommission für die Adria an die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften konstatiert Professor Osnaghi im September 1868 in Pola das Vorhandensein eines vom Ingenieur Haider konstruierten Flutautographen, der befriedigende Resultate lieferte. Dieser Flutmesser ist, wie dies aus den noch vorhandenen Registrierblättern zu ersehen ist, jedenfalls bis Ende 1872 in Betrieb gestanden. 1873 wurde im alten Flutmesserhäuschen des k. u. k. Seearsenals (jetzt Farbendepot) ein neuer Flutmesser[1] installiert, bei dem das Registrierpapier nicht wie bisher auf einer Walze, sondern auf einer in vertikaler Richtung sich verschiebenden Tafel eingespannt war. 1880 fand eine Reinigung des damals fast gänzlich verstopften Zuleitungskanals und 1881 eine Rekonstruktion des Apparates statt.

Eine Verfeinerung erfuhren die Flutbeobachtungen in Pola im September 1904 durch Aufstellung eines von der Firma R. Fuess in Steglitz bei Berlin erzeugten selbständig registrierenden Gezeitenpegels Seibt-Fuess über dem Brunnenschacht des alten Flutmessers. Die Einrichtung dieses Apparates ist im Jahrbuch des Hydrographischen Amtes von 1904 beschrieben. Bei der Reinigung des Zuleitungskanals hatte sich aber gezeigt, daß innerhalb desselben und im ganzen umliegenden Anschüttungsterrain, gegen welches der Zuleitungskanal nicht abgedichtet ist, ein Grundwasserstrom zirkuliert, welcher zweifellos eine Fälschung der Flutangaben mit sich bringen mußte. Es wurde daher für eine bessere Aufstellung des Gezeitenpegels Sorge getragen und hiezu das am Kopfe des Molo Nr. 6 befindliche Gendarmeriewachhaus eingerichtet. Diese Adaptierungsarbeiten, nämlich der Bau eines auszementierten Brunnenschachtes von quadratischem Querschnitte und die Anbringung einer rechtwinklig abgebogenen Röhre aus Gußeisen, deren horizontaler Arm den Zuleitungskanal bildet, während der vertikale Arm von der Mündung des Kanals 1 *m* tief hinabreicht, um den Einfluß des Seeganges abzuschwächen, waren Ende Mai 1905 fertiggestellt und konnte am 31. Mai die Übertragung des Gezeitenpegels in das neue Flutmesserhäuschen bewirkt werden.

Um aber einen Anschluß an die alte Beobachtungsreihe zu ermöglichen, wurde der alte Flutmesser wieder aktiviert und liegen vom Monat Juli 1905 vollständige Registrierungen von beiden Apparaten vor. Am 1. August 1905 fand sodann die Abmontierung des alten Flutpegels statt.

Während beim alten Flutpegel die Stundenangaben Abstände des Wasserspiegels vom Brunnenrand darstellten, werden beim neuen Gezeitenpegel die Höhen des Wasserspiegels über einen Nullpunkt gemessen, der sich 4 *m* unterhalb des Indexstriches auf der Lotskala vom Apparat befindet. Dieser Indexstrich liegt 147·8 *mm* unter der Höhenmarke im neuen Flutmesserhäuschen. 1906 wurde

[1] Eine Beschreibung und Skizze dieses Flutmessers befindet sich im Jahrbuch des Hydrographischen Amtes von 1896 (p. 46 und 47).

durch ein vom k. u. k. Hauptmann im Militärgeographischen Institute J. Gregor bewirktes Nivellement gefunden, daß diese Höhenmarke 96·8 *mm* tiefer liegt als eine konforme Höhenmarke im alten Flutmesserhaus. Nun befindet sich aber die alte Höhenmarke 1658·3 *mm* oberhalb des alten Nullpunktes (Brunnenrand), daher der neue Nullpunkt 2586·3 *mm* unter dem alten situiert ist.

Um die Angaben des alten Flutmessers auf jene des neuen zu reduzieren, resultiert aus diesem Nivellement die Relation:

Alte Lesung = 258·6 — neue Lesung (*cm*),

und aus dem im Juli bewirkten direkten Vergleich mit befriedigender Übereinstimmung:

Alte Lesung = 259·4 — neue Lesung (*cm*).

Im Mai 1904 wurden behufs Kontrolle des Nivellements durch die Flutmesserangaben die Koten einzelner Höhenmarken in Triest, Pola und Ragusa durch das Militärgeographische Institut neu bestimmt. So ergab sich als Höhenunterschied der Höhenmarken Nr. 5560 auf der Nordwestfront des Hydrographischen Amtes und der Höhenmarke im alten Flutmesserhäuschen 28·3383 *m* und daraus mit Benützung des mittleren Wasserstandes 1905—1914, bezogen auf den neuen Nullpunkt, 103·72 ± 0·34 *cm*, resultiert die Höhenkote der Marke Nr. 5560 mit 31·5457 *m*. In Triest beträgt die Höhe der Ausgangshöhenmarke Nr. 1 über dem alten Pegelnullpunkt 2·2341 *m* und da die Mittelwasserhöhe aus der Zeitperiode 1905—1914 101·71 ± 1·52 *cm* ausmacht, so liegt die Ausgangshöhenmarke Nr. 1 3·2512 ± 1·52 *cm* über Mittelwasser.

Somit würde nach den Flutmesserangaben zwischen beiden Höhenmarken — Triest und Pola — eine Niveaudifferenz von 28·2945 *m* vorhanden sein, während das Nivellement einen Höhenunterschied von 28·2665 *m* ergibt. Der Unterschied von 2·8 *cm* liegt nicht nur unterhalb der zulässigen Fehlergrenze beim Nivellieren, sondern es partizipieren daran auch die Ungenauigkeiten im Mittelwasser. (Siehe auch »Kontrolle des Nivellements durch die Flutmesserangaben und die Schwankungen des Meeresspiegels der Adria« von Dr. R. v. Sterneck, XIV. Band der Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes.)

Außer zur Reduktion der Lotungen gelegentlich von Küstenaufnahmen wurden bisher die älteren Beobachtungsreihen folgendermaßen verwertet:

1. Die homogenen Jahrgänge 1869—1872 zur Ermittlung der Hafenzeit und der mittleren halbmonatlichen Ungleichheit;

2. die Aufzeichnungen vom 1. Jänner 1869 bis 31. Dezember 1871 zur Berechnung der Flutkonstanten nach der Methode von Professor Stahlberger;

3. die Aufzeichnungen von 1873 bis 1878 zur Berechnung des Mittelwassers (Militärgeographisches Institut).

Ad 1. Für die Berechnung der Hafenzeit und der halbmonatlichen Ungleichheiten benützte man eine Näherungsmethode. Zuerst wurde jede Flutkurve nach Mondstunden eingeteilt und die Wasserstände derartig tabellarisch geordnet, daß auf einer Tabelle sämtliche Ablesungen zur Eintragung kamen, die in einem Jahre den innerhalb derselben Stunde, zum Beispiel zwischen $0^h 30^m$ und $1^h 30^m$ oder zwischen $1^h 30^m$ und $2^h 30^m$ u. s. w. stattfindenden Mondeskulminationen entsprachen. Sowohl aus den Zeiten der Mondeskulminationen als auch aus den zugehörigen Wasserständen der einzelnen Stunden wurde das Mittel genommen und mit Benützung der 1. und 2. Differenzen nach einer im Marinealmanach von 1866 näher erläuterten Methode die Zeit des Maximums des Wasserstandes für die betreffende Kulminationsstunde, und zwar für die obere und untere Kulmination getrennt, gerechnet. Das Mittel der Zeiten dieser beiden Maxima ergab das Mondflutintervall für die betreffende Kulminationsstunde und der Mittelwert sämtlicher Maxima-Zeiten die Hafenzeit.

Zur Ableitung der halbmonatlichen Ungleichheit wurden sodann die Differenzen der den einzelnen Kulminationsstunden zukommenden Maxima-Zeiten und der Hafenzeit gebildet und die so gefundenen Daten graphisch ausgeglichen.

Aus der vorstehenden Beobachtungsreihe resultierte als Hafenzeit für Pola $8^h 56^m$. Die halbmonatliche Ungleichheit für Pola ist zuerst in den »Hydrographischen Nachrichten« vom Jahre 1876 veröffentlicht und dann in den »Nautischen Tafeln« abgedruckt worden.

Wie wir später sehen werden, hat die in vorstehender Weise berechnete mittlere halbmonatliche Ungleichheit keinen praktischen Wert, da diese Korrektur nicht nur von der Zeit der Mondes-

kulmination sondern auch wegen der in der Adria stark entwickelten Gezeitenwellen von ganztägiger Periode auch von der Länge der Sonne abhängig ist, daher mit der Jahreszeit variiert.

Ad 2. Die Bearbeitung der Aufzeichnungen von 1869—1871 und die Ermittlung der Flutkonstanten nach der Methode von Professor Stahlberger wurden im 4. Bericht der ständigen Kommission für die Adria an die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, p. 262—278 veröffentlicht. Da, wie eingangs erwähnt, sich diese Methode zur Vorberechnung des Gezeitenablaufes minder gut eignet und sie auch betreffs Pola niemals eine praktische Anwendung gefunden hat, wird hier auf die von Stahlberger für Pola abgeleiteten Flutkonstanten nicht weiter eingegangen.

Ad 3. Die Berechnung des Mittelwassers aus den 5 Jahrgängen 1873 bis 1878 geschah am Militär-geographischen Institute und wurde dabei die Auswertung der Registrierungen mit größter Genauigkeit vorgenommen. Es resultierte als mittlerer Abstand des Wasserspiegels vom Brunnenrand, wobei eine Korrektion auf den Normalwert des Luftdruckes von Pola (758·6 *mm*) angebracht worden ist, 159·0 *cm*.

In der diese Daten enthaltenden Tabelle ist nicht genau definiert, was unter dem Brunnenrand verstanden ist, es ist aber der Abstand des Brunnenrandes von der Höhenmarke im alten Flutmesserhäuschen mit 1·6614 *m* angegeben, so daß also das Mittelwasser dieser Periode 3·251 *m* unter der obgenannten Höhenmarke zu liegen kommt.

Harmonische Analyse. Pola ist der erste Ort im Adriatischen Meere, für den eine Bearbeitung der Gezeitenerscheinungen auf Grund der harmonischen Analyse stattgefunden hat. Veranlassung hiezu gab einerseits das Bedürfnis, die Hochwasserzeiten von Pola genauer zu ermitteln als dies bei Benützung der in den Nautischen Tafeln enthaltenen halbmonatlichen Ungleichheiten möglich war, also ein rein praktischer Grund, andrerseits bildete diese Arbeit des Verfassers den ersten Schritt, Anhaltspunkte für eine physikalische Erklärung der komplizierten und regional verschiedenen Gezeitenerscheinungen unseres heimischen Meeres zu schaffen.

Ohne auf die Theorie und Praxis der harmonischen Analyse einzugehen, sollen hier zum Verständnis des Nachfolgenden einige auf diese Methode bezüglichen Fundamentalbegriffe in Erinnerung gebracht werden und wird im übrigen auf die einschlägigen Arbeiten von Darwin und Börgen verwiesen.[1]

Wie schon Laplace gezeigt hat, kann man sich die periodischen Niveauschwankungen an einem fixen Orte durch die Übereinanderlagerung einer Reihe einfacher Wellen (Elementar- oder Partialwellen, Tiden) vorstellen, die sämtlich durch die Anziehung ebensovieler idealer Satelliten erzeugt werden. Man nimmt dabei an, daß diese Satelliten in gleichförmigen Geschwindigkeiten, entweder im Äquator oder hiezu parallelen Ebenen die ruhende Erde umkreisen, oder bei rotierender Erde unter den Fixsternen stille stehen und daß deren anziehende Kräfte zusammen den fluterzeugenden Kräften von Sonne und Mond auf den Ozean der rotierenden Erde gleichkommen.

Jede dieser Partialwellen ist durch die Gleichung einer Sinussoide von der Form:

$$h = R \cos (qt - \beta)$$

definiert, worin h den der Zeit t zukommenden Abstand des Wasserspiegels bezogen auf das Mittelwasser, t die von einem willkürlichen Moment an gezählte mittlere Zeit, q die Winkelgeschwindigkeit und β die Phase der Welle bedeuten. Für $qt = \beta$ wird $\cos (qt - \beta) = 1$ und $h = R$, es erreicht dann h seinen Maximalwert (Hochwasser der betreffenden Partialtide) und ist $\frac{\beta}{q}$ die Zeit, wann das Hochwasser stattfindet.

Die Größen R und β werden durch Beobachtung gefunden, während q sich aus der Theorie, d. h. aus den mittleren Bahnelementen des die betreffende Welle erzeugenden Gestirnes (Satelliten)

---

[2] Scientific papers by Sir George H. Darwin. Vol I. Oceanic tides and currents. Die harmonische Analyse der Gezeitenbeobachtungen von Prof. Dr. Börgen in Wilhelmshaven. Jahrgang 1884 der »Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie«.

ergibt und für alle Orte der Erde gleich ist. Es ist einleuchtend, daß h nach Ablauf der mittleren Zeit $T = \frac{360°}{q}$ wieder denselben Wert annimmt; diese Zeit nennt man die Periode der Welle.

Da die Phase β, abgesehen von den örtlichen Verhältnissen, auch vom Beginn der Zeitrechnung abhängig ist, — denn in β sind die mittleren Bahnelemente des die betreffende Welle erzeugenden Gestirnes enthalten — so ist β keine Konstante, sondern kann alle Werte von 0 — 360° durchlaufen. Es werden somit die aus verschiedenen Beobachtungsreihen abgeleiteten Werte von β nicht gleich sein können. Um nun die aus verschiedenen Zeitperioden ermittelten Werte von β untereinander vergleichen und sie zur Vorausberechnung einer Tide benützen zu können, setzen wir:

$$qt - \beta = V + u - \varkappa.$$

Hierin ist V eine lineare Funktion der mittleren Länge von Sonne oder Mond, der mittleren Länge des Perigäums oder Perihels und der mittleren Zeit. V ändert sich somit proportional der mittleren Zeit, da diese Größen sich sämtlich proportional der mittleren Zeit ändern. u enthält je nach der betreffenden Tide entweder nur konstante oder solche Größen, die eine Funktion der Länge des aufsteigenden Mondknotens sind und ändert sich u ebenfalls proportional der mittleren Zeit. Diese Änderung ist aber während eines Jahres nur gering und pflegt man u als konstant anzusehen. Um aber den hiebei begangenen Fehler auf ein Minimum zu reduzieren, ist man übereingekommen, jenen Wert von u zu ermitteln, welcher der Mitte desjenigen Zeitraumes entspricht, den man der Analyse unterworfen hat. $V + u$, der veränderliche Teil des Winkels unter dem Cosinuszeichen, bildet das Argument der Tide und handelt es sich jetzt noch um die Bestimmung von ϰ.

Bezeichnet V_0 jenen Wert von V, welcher der Zeit 0^h am ersten Tag derjenigen Beobachtungsperiode zukommt, die der Analyse unterworfen wurde, so ist für $t = 0$ aus obiger Gleichung

$$-\beta = V_0 + u - \varkappa$$

und daraus

$$\varkappa = V_0 + u + \beta;$$

es ist also $V_0 + u$, das Argument der betreffenden Tide für 0^h des ersten Tages, um β zu vermehren, um die Größe ϰ zu erhalten. β ergibt sich aus der harmonischen Analyse.

ϰ ist hier natürlich in Bogenmaß ausgedrückt, wobei 1° als der 360. Teil der Wellenperiode anzusehen ist. Man nennt diese Konstante nach Laplace die Situation der Welle oder einfach die Kappazahl. Will man ϰ in mittlerer Zeit ausdrücken, so ist $\frac{\varkappa}{q}$ zu bilden und repräsentiert diese Größe die Verspätung der betreffenden Welle nach der Kulmination des sie erzeugenden Satelliten.

Aber auch die mittelst der Analyse gefundene Größe R — der Koeffizient oder die Amplitude der Welle — ist keine Konstante, sondern sie variiert mit der Neigung der Mondbahn. Man pflegt nun die Amplitude mittelst der Formel

$$H = \frac{1}{f} R,$$

worin f einen der betreffende Tide eigentümlichen und von der Neigung der Mondbahn abhängigen Faktor bedeutet, auf einen mittleren Wert der Neigung der Mondbahn zu reduzieren und nennt diesen Betrag H. In der Adria sind nun die Unterschiede von H und R, wie wir später sehen werden, so gering, daß man für alle Untersuchungen den mittleren Wert H benützen kann.

Die bisher betrachteten Wellen gehören sämtlich in die Klasse der erzwungenen Wellen, die nur solange bestehen, als die störende Kraft wirkt, man nennt sie auch primäre Wellen. Die Höhe dieser Wellen ist proportional der Wassertiefe, ihre Länge genau gleich der halben Länge des Kanals, ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist in keiner Weise von der Tiefe des Wassers abhängig.

Außer diesen primären Wellen werden aber aus verschiedenen, von den örtlichen Verhältnissen abhängigen physikalischen Ursachen, zum Beispiel infolge Vorhandenseins von Bewegungshindernissen,

noch andere Wellen existieren, die neben und gleichzeitig mit den erzwungenen Wellen auftreten, zu diesen in besonderen Beziehungen stehen, aber bezüglich Länge und Geschwindigkeit von der Tiefe des Kanales abhängen. Während in hoher See nur die erzwungenen Wellen vorherrschen, kommen in Kanälen und Meeresbuchten die freien Wellen oft so stark zur Geltung, daß wir es dann fast ausschließlich nur mit ihnen zu tun haben.

Das Prinzip der Übereinanderlagerung gilt auch für diese Wellen. Wie wir später sehen werden, haben die Gezeitenwellen der Adria, die wir als eine Bucht des Mittelländischen Meeres auffassen können, zum größten Teil den Charakter stehender Schwingungen, wie dies schon vor Durchführung der harmonischen Analyse von G. H. Darwin vermutet worden ist.

Bei der numerischen Auflösung der harmonischen Analyse habe ich größtenteils die ältere etwas zeitraubende Methode von Thomson und Roberts benützt und ihr gegenüber dem neuen von Börgen angegebenen Verfahren wegen ihrer großen Einfachheit und Übersichtlichkeit den Vorzug gegeben. Die Rechenoperationen gestalten sich nämlich bei der älteren Methode sehr leicht, jede einzelne Tide kommt ganz unabhängig von den andern selbständig zum Vorschein und besitzt sie auch noch den Vorteil, daß jedes Monatsformular mühelos einer Kontrolle unterzogen werden kann, wodurch dem Weiterschleppen von Eintragungsfehlern vorgebeugt wird. Nur bei den Tiden P und K habe ich bei einigen Stationen die von G. H. Darwin angegebene Methode (Flutrechenbrett) angewendet.

Der Zeitraum, auf den die harmonische Analyse ausgedehnt wurde, erstreckte sich, wie allgemein üblich, auf 369 Tage und 3 Stunden.

Nach Ermittlung der 24 Stundenordinaten (Tidenstunden), wodurch der Verlauf jeder einzelnen Tide während einer ganzen Periode dargestellt ist, ergibt sich die Höhe des Wasserstandes bei Berücksichtigung der Nebentiden durch die Sinusreihe:

$$h = R_1 \sin(\alpha_1 + x) + R_2 \sin(\alpha_2 + 2x) + R_3 \sin(\alpha_3 + 3x) + R_4 \sin(\alpha_4 + 4x) \ldots\ldots$$

worin $R_1, R_2 \ldots$ die Amplituden der Haupt- und Obertiden, $\alpha_1\ \alpha_2 \ldots$ die Winkelkonstanten und $x = nT$ die Anzahl Tidenstunden bedeuten, für die die Wasserhöhe h gilt. Da $\beta = 90° - \alpha$ ist, lassen sich aus den Winkelkonstanten die Kappazahlen für die einzelnen Partialtiden mit Benützung der Gleichung:

$$\varkappa = V_0 + u + \beta$$

berechnen, während H durch Multiplikation des Koeffizienten R mit dem Faktor $\frac{1}{f}$ abgeleitet wird. Zur Berechnung der Größen R und α benützte ich durchgehends das Rechenschema von L. Großmann.[1]

Da im voraus nicht beurteilt werden konnte, welche Tiden in der Adria noch eine merkliche Größe besitzen, wurden die harmonischen Konstanten für die Tiden $M, S, K, O, N, P, Q, \nu, L, T$, dann für die zusammengesetzten Tiden MK und μ ermittelt. Mit Rücksicht auf die kleinen Werte von L, Q und ν, sowie von MK und μ konnte auf die Berechnung der elliptischen und Evektionstiden zweiter Ordnung sowie der übrigen zusammengesetzten Tiden verzichtet werden und ist es durchaus sicher, daß an den Steilküsten im Adriagebiete keine der oben nicht angeführten Tiden noch eine merkliche Höhe erreichen wird.

Das Ergebnis der Analyse ist durch die folgenden Sinusreihen dargestellt, worin h den Abstand des Wasserspiegels vom Mittelwasser in Zentimetern und x die Tidenstunden bedeuten. Der vor dem Sinuszeichen stehende Koeffizient repräsentiert die halbe Amplitude der betreffenden Tide in Zentimetern.

M (Mondtide)

$$h_M = 0\cdot33 \sin(29°5 + x) + 15\cdot28 \sin(39°2 + 2x) + 0\cdot24 \sin(117°1 + 3x) + 0\cdot28 \sin(30°0 + 4x).$$

N (große elliptische Mondtide)

$$h_N = 0\cdot34 \sin(278°9 + x) + 2\cdot37 \sin(257°8 + 2x) + 0\cdot05 \sin(334°1 + 3x) + 0\cdot03 \sin(210°1 + 4x).$$

[1] Praktische Anleitung zur Berechnung der Konstanten der Bessel'schen Formel für den täglichen und jährlichen Gang der periodischen Elemente von Dr. L. Großmann, Altona, 1895.

L (kleine elliptische Mondtide)

$$h_L = 0 \cdot 76 \sin (337^\circ 0 + x) + 1 \cdot 21 \sin (332^\circ 1 + 2x) + 0^\circ 01 \sin (166^\circ 0 + 3x) + 0 \cdot 05 \sin (142^\circ 5 + 4x).$$

ν (Evektionstide des Mondes)

$$h_\nu = 0 \cdot 26 \sin (2^\circ 2 + x) + 0 \cdot 66 \sin (91^\circ 4 + 2x).$$

O (Deklinationstide des Mondes)

$$h_O = 4 \cdot 36 \sin (62^\circ 1 + x) + 0 \cdot 36 \sin (165^\circ 0 + 2x) + 0 \cdot 12 \sin (232^\circ 0 + 3x) + 0 \cdot 03 \sin (5^\circ 2 + 4x).$$

Q (eintägige elliptische Mondtide)

$$h_Q = 1 \cdot 01 \sin (260^\circ 1 + x) + 0 \cdot 05 \sin (122^\circ 7 + 2x) + 0 \cdot 07 \sin (28^\circ 4 + 3x) + 0 \cdot 04 \sin 245 \cdot 6 + 4x)$$

S (Sonnentide)

$$h_S = 0 \cdot 67 \sin (57^\circ 7 + x) + 8 \cdot 68 \sin (179^\circ 2 + 2x) + 0^\circ 07 \sin (178^\circ 2 + 3x) + 0 \cdot 13 \sin (314^\circ 4 + 4x)$$

T (elliptische Sonnentide)

$$h_T = 0 \cdot 80 \sin (29^\circ 7 + x) + 0 \cdot 81 \sin (123^\circ 2 + 2x) + 0 \cdot 03 \sin (4^\circ 4 + 3x) + 0 \cdot 04 \sin (186^\circ 4 + 4x).$$

P (Deklinationstide der Sonne)

$$h_P = 4 \cdot 94 \sin (190^\circ 8 + x) + 0 \cdot 19 \sin (227^\circ 4 + 2x) + 0 \cdot 06 \sin (330^\circ 5 + 3x) + 0 \cdot 06 \sin (111^\circ 7 + 4x)$$

K (Lunisolartide)

$$h_K = 14 \cdot 47 \sin (205^\circ 1 + x) + 2 \cdot 01 \sin (7^\circ 9 + 2x) + 0 \cdot 05 \sin (56^\circ 0 + 3x) + 0 \cdot 03 \sin (10^\circ 4 + 4x).$$

MK (zusammengesetzte Tide $M_2 + K_1$)

$$h_{MK} = 0 \cdot 39 \sin (305^\circ 5 + x) + 0 \cdot 10 \sin (198^\circ 3 + 2x) + 0 \cdot 43 \sin (231^\circ 5 + 3x) + 0 \cdot 02 \sin (50^\circ 8 + 4x)$$

μ oder $2\,MS$ (zusammengesetzte Tide $M_4 - S_2$)

$$h\,\mu = 0 \cdot 35 \sin (301^\circ 8 + x) + 0 \cdot 34 \sin (253^\circ 7 + 2x) + 0 \cdot 06 \sin (354^\circ 5 + 3x) + 0 \cdot 01 \sin (298^\circ 1 + 4x).$$

Aus den vorstehenden Gleichungen ersehen wir, daß in Pola und gewiß auch an der ganzen heimischen Küste nur die Tiden $M_2, N_2, O_1, S_2, P_1, K_1$ und K_2[1] eine genügend große Amplitude aufweisen, um den Verlauf der Flutkurven merklich zu beeinflussen und werden wir uns in dieser Arbeit nur mit den obgenannten sieben Elementarwellen zu befassen haben, über deren Eigenschaften hier noch einige Erläuterungen folgen.

M_2 und S_2, die Hauptmond- und Hauptsonnentide, sind Halbtagstiden mit den Perioden $12^h 42060$, beziehungsweise $12^h 0$, die unter der Annahme zustandekommen, daß sich Mond und Sonne im Äquator in gleichförmiger Geschwindigkeit um die ruhende Erde bewegen. Die Lage von M_2 wechselt somit gegen S_2 und wird in einem synodischen Monat (das ist die Zeit zwischen zwei Neumonden, im Mittel 29·53 Tage) die M_2-Welle um zwei Einzelschwingungen gegen die S_2-Welle zurückbleiben.

N_2, gewöhnlich mit N bezeichnet, hat eine Periode von $12^h 65835$ und repräsentiert zusammen mit der Tide L den Einfluß der durch die elliptische Form der Mondbahn hervorgerufenen Änderungen der fluterzeugenden Kraft des Mondes, indem von einen Durchgang des Mondes durch das Perigäum bis zum nächsten, das ist in einem anomalistischen Monat (= 27·55 Tage), die N-Tide um eine einfache Schwingung gegen die M-Tide zurückbleibt. In einem anomalistischen Monat finden nämlich 53·24 Einzelschwingungen der M-Tide und 52·24 Perioden der N-Tide statt. Die Wirkung der L-Tide ist dabei so klein, daß wir sie ganz vernachlässigen können.

Den Deklinationsänderungen der fluterzeugenden Gestirne Sonne und Mond wird durch je ein Tidenpaar, nämlich P und K, beziehungsweise O und K Rechnung getragen. Hiebei lassen sich die Anteile von Sonne und Mond in K durch die harmonische Analyse nicht trennen, da diese Partial-

[1] Der den Buchstaben M, N... beigesetzte Index gibt an, ob die betreffende Tide ganz- (1), halb- (2) oder dritteltägig (3) ... ist.

tiden die gleiche Periode besitzen, daher in der Analyse immer vereint zum Vorschein kommen müssen. O_1 und P_1 kann man sich durch fingierte Gestirne erzeugt denken, die — ebenfalls die Erde in Ruhe angenommen — ihre Umläufe in zum Äquator parallelen Ebenen in $25^h 81935$, beziehungsweise $24^h 06589$ vollenden. Es wird daher die O_1-Tide in einem siderischen Monat, die P_1-Tide in einem siderischen Jahre um eine Periode gegen die Doppelschwingung der Hauptmond-, beziehungsweise der Hauptsonnentide zurückbleiben. In einem siderischen Monat finden nämlich 26·40 Doppelschwingungen von M_2 und 25·40 O_1-Perioden statt, während das siderische Jahr 365·256 Doppelschwingungen von S_2 und 364·256 P_1-Perioden aufweist. Von den Tiden O und P sind nur die Eintagswellen O_1 und P_1 von Bedeutung, daher diese Partialwellen einfach mit O und P bezeichnet werden.

Um das Zustandekommen der Tide K (Lunisolare Tide) zu erklären, muß man sich die Sonne und gleichzeitig den Mond in Bezug auf die in 24 Stunden Sternzeit um sich selbst rotierende Erde als stillestehend vorstellen. Die in Wirklichkeit wechselnde Stellung des Mondes in Bezug auf die Sonne spielt somit bei dieser Tide keine Rolle. Man nennt daher auch K die siderische Tide. Die harmonische Analyse ergibt, daß von dieser Tide neben der kräftig entwickelten ganztägigen Welle K_1 auch noch die halbtägige Welle K_2 von Bedeutung ist. Die Welle K_1, deren Periode $23^h 93447$, das ist einem Sterntage, gleichkommt, eilt in einem siderischen Jahr der Hauptsonnentide (S_2 als Doppelschwingung genommen) um eine Schwingung voraus, desgleichen der M_2-Tide um eine Schwingung in einem siderischen Monat, denn ein siderisches Jahr hat 365·256 Doppelperioden der S_2-Tide und 366·256 Perioden der K_1-Tide, ferner finden in einem Monate 26·398 Schwingungen der M_2-Tide (Doppelschwingungen) und 27·398 Schwingungen der K_1-Tide statt. Die K_2-Tide, welche die halbe Periode wie K_1 besitzt, läuft dagegen in einem siderischen Jahre um zwei Einzelschwingungen gegen die S_2-Tide und in einem siderischen Monat um zwei Einzelschwingungen gegen die M_2-Tide voraus; es verhalten sich somit P und K in einem siderischen Jahr zur S_2-Tide wie O und K zur M_2-Tide in einem siderischen Monat.

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude H in *cm*	8·68	15·07	2·34	2·45	15·63	4·94	4·96
Kappazahl $\varkappa$ (M. O. Z.)	270°8	264°5	271°8	269°0	67°9	69°0	62°2

Hafenzeit = $9^h\ 5^m$ M. O. Z.

Das Verhältnis der Amplituden der Hauptmond- und Hauptsonnentide ($M_2 : S_2$) beträgt 1·74 in guter Übereinstimmung mit dem Wert 1·79, den Professor Klekler nach der Stahlberger'schen Methode für Pola abgeleitet hatte. Es ist somit die Sonnenflut relativ groß im Vergleich zur Mondflut, da die theoretische Verhältniszahl 2·3 ausmacht. Besonders auffällig ist aber die große Amplitude der K_1-Tide. Während zum Beispiel in Wilhelmshafen $H_{M_2} = 156 \cdot 8\,cm$ und H_{K_1} nur $7 \cdot 8\,cm$ betragen, überragt in Pola die Amplitude der K_1-Tide sogar um ein geringes jene der M_2-Tide und sind auch die andern eintägigen Tiden, nämlich P und O relativ stark entwickelt. Hiebei sind die Amplituden dieser beiden Tiden nahezu gleich und betragen sie ungefähr ein Drittel der K_1-Tide. Das Mittel der Kappazahlen der Halbtagstiden ist 269°, jenes der ganztägigen 67°.

Vorausberechnung der Gezeiten. Sind für einen Küstenpunkt die Flutkonstanten bekannt, so kann die Vorausberechnung der Gezeiten auf verschiedene Art geschehen. Handelt es sich um eine Darstellung des Gezeitenablaufes an einem bestimmten Tag, also um die Vorausberechnung der ganzen

Flutkurve, so wird man für die Adriatischen Stationen das nachstehend skizzierte Verfahren mit Vorteil dann anwenden können, sobald eine größere Genauigkeit gefordert ist und wenn für den betreffenden Ort die sieben Teiltiden M_2, N, O, S_2, P, K_1 und K_2 bereits auf Oleaten in gleichem Verjüngungsmaßstab dargestellt sind. Der weitere Vorgang ist dann wie folgt:

Auf einem Papierblatt wird zunächst die Mittelwasserlinie gezogen und dort 24 Stunden (mittlere Zeit) entsprechend dem Maßstab der Tidenoleate (Tide S_2) abgesteckt. Man erhält damit die Zeitskala und werden von 0^h beginnend die Vertikallinien für jede einzelne Stunde eingezeichnet. Zur Darstellung der sieben Teiltiden ist jetzt nur noch die Kenntnis der Lage derjenigen Punkte notwendig, wo am betreffenden Tag die einzelnen Tiden bei ihrer aufsteigenden Bewegung zum erstenmale die Mittelwasserlinie schneiden. Aus der bekannten Gleichung der harmonischen Schwingung

$$h = H\cos\,(qt - \beta)$$

worin $\beta = -(V+u) + \varkappa$ zu setzen ist, haben wir die Zeit des Maximalwertes von h, also die Kulminationszeit der betreffenden Tide

$$t = \frac{\beta}{q}$$

und dann die Zeiten für die beiden Schnittpunkte der Mittelwasserlinie

$$\frac{-90^\circ + \beta}{q} \text{ und } \frac{90^\circ + \beta}{q}.$$

Die Berechnung des ersten Schnittpunktes geschieht somit für jede Teiltide nach der Formel

$$t = \frac{-(V+u) + \varkappa - 90^\circ}{q},$$

worin $V+u$ das Argument der Tide für den betreffenden Tag, $\varkappa$ ihre Kappazahl und q die Winkelgeschwindigkeit bedeuten.

$V+u$ entnimmt man gewöhnlich einer Ephemeride der Bahnelemente des Mondes (Börgen's Abhandlung p. 666—670 oder Tabelle VI *a—e*).[1] Nach Markierung des so gefundenen Schnittpunktes auf der Mittelwasserlinie (Zeitskala) legt man die Oleate der einzuzeichnenden Tide derart auf, daß der Schnittpunkt der Welle bei ihrer aufsteigenden Bewegung (auf der Oleate) mit dem am Papierblatt markierten Punkt sich decken und ist dann die Wellenlinie durchzupausen. Sind in dieser Weise die sieben Tiden durchgepaust, so werden an den Vertikallinien für die einzelnen Stunden sämtliche Tidenordinaten mittelst eines Spitzzirkels durch sukzessives Abstecken addiert und dadurch die Ordinate der resultierenden Flutkurve gefunden.[2]

Bei diesem Verfahren wurde die Voraussetzung gemacht, daß statt des Koeffizienten R sein Mittelwert H substituiert werden könne. Diese Voraussetzung ist nun für die Adria durchaus zulässig. Der Reduktionsfaktor f erreicht für die Tide M seinen Maximalwert bei $N = 180°$ und für die Tide K bei $N = 0°$, das sind die Tiden, deren Amplituden bei einer Änderung von N die numerisch größten Schwankungen erleiden. Berechnet man f für diese Grenzwerte von N und damit R, so resultiert bei M_2 eine Maximaldifferenz von $0 \cdot 57$ *cm* und bei K_1 eine solche von $1 \cdot 76$ *cm* gegen den Mittelwert H. Da sich diese Differenzen aber zum Teil gegenseitig aufheben müssen, so bleibt ein so geringer Unterschied, daß wir für die Adria sowohl in der Praxis als auch bei allen theoretischen Untersuchungen bei sämtlichen Tiden ohne Bedenken $R = H$ setzen können.

---

[1] Wegen der langsamen Änderung von u genügt es, die darin vorkommenden Größen ν, ξ, ν' und ν'' für die Mitte des betreffenden Jahres herauszunehmen.

[2] Für das genaue Einzeichnen einer Tide halte ich die Berechnung ihres Schnittpunktes mit der Mittelwasserlinie zweckmäßiger als jene des Kulminationspunktes.

Nachstehendes Beispiel soll zur näheren Erläuterung dieser Methode dienen.
Vorberechnung der Flutkurve für den 6. Jänner 1909.

Der Tabelle VI entnehmen wir für den obigen Tag:

Tabelle VI *a*	Tabelle VI *b*	Tabelle VI *c*	Tabelle VI *d*	Tabelle VI *e*
s_0 ......1./1. 1909....34°44	$h_0 =$ ..280°51	N für die Mitte	$p_0 = 340°62$	$\nu = 11°7$
Zunahme.6./1. ....65·88	.... 4·93	von 1909..75°	.... 0·56	$\xi = 10·7$
100·32	285·44		$p = 341·18$	$\nu' = 8·2$
Korrektion wegen Länge —0·51	—0·04		$s-p = 118·6$	$2\nu'' = 16·8$
$s =$ 99·81	$h = 285·40$			

M_2

$h = 285°4$
$s = 99·8$
$h-s = 185·6$
$2(h-s) = 371·2$
$2(\nu-\xi) = 2·0$
$V+u = 9·2$

$V+u = 9°2$
$\varkappa_{M_2} = 264·5$
$\beta = 255·3$
$\beta-90° = 165·3$
$\frac{\beta-90°}{28·98} = 5^h71$

N

Argument $M_2 = 9°2$
$s-p = 118·6$
$V+u = -109·4$
$= 250·6$
$\varkappa_N = 271·8$
$\beta = 21·2$

$\beta-90° = 291°2$
$\frac{\beta-90°}{28·44} = 10^h24$

O

$h = 285°4$
$+ 90·0$
$h+90° = 375·4$
$\nu = 11·7$
$h+90°-\nu = 363·7$
$2(s-\xi) = 178·2$
$V+u = 185·5$
$\varkappa_O = 62·2$
$\beta = 236·7$

$s = 99°8$
$\xi = 10·7$
$s-\xi = 89·1$
$2(s-\xi) = 178·2$

$\beta-90° = 146·7$
$\frac{\beta-90°}{13·94} = 10^h52$

P

$-h = 285·4$
$+ 90·0$
$V+u = 195·4$
$\varkappa_P = 69·0$
$\beta = 264·4$
$\beta-90° = 174·4$

$\frac{\beta-90°}{14·96} = 11^h67$

K_1

$h = 285°4$
$\nu' = 8·2$
$- 90·0$
$V+u = 187·2$
$\varkappa_{K_1} = 67·9$
$\beta = 240·7$

$\beta-90° = 150°7$
$\frac{\beta-90}{15·04} = 10^h02$

K_2

$h = 285°4$
$2h = 570·8$
$= 210·8$
$2\nu'' = 15·8$
$V+u = 194·0$
$\varkappa_{K_2} = 269·0$
$\beta = 75·0$

$\beta-90° = 345°0$
$\frac{\beta-90°}{30·08} = 11^h47$

Mit den hier berechneten Werten von $\frac{\beta-90°}{q}$ und mit Benutzung der für Pola angefertigten Oleaten wurden in der vorbesprochenen Weise die Partialtiden M_2, N, O, S_2, P, K_1 und K_2 eingezeichnet und daraus der theoretische Verlauf der Flutkurve für den 6. Jänner 1909 ermittelt. (Fig. 1.)

Die Aufzeichnungen des Flutautographen im k. u. k. Seearsenale ergaben am selben Tage folgende Abstände in Zentimetern vom Mittelwasser:

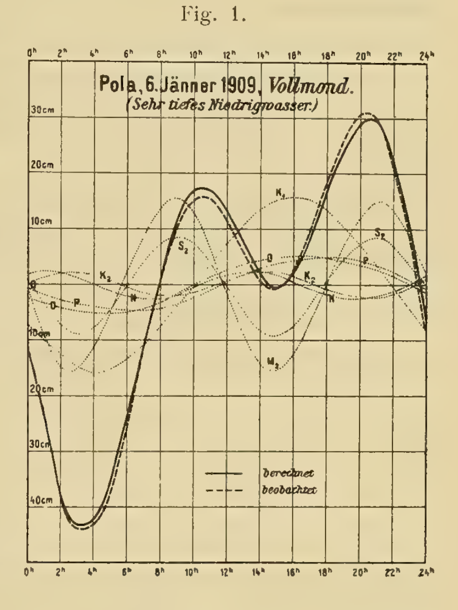
0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h
— 10	— 25	— 38	— 44	— 44	— 38	— 26	— 13	+ 1	+ 10	+ 15	+ 15	+ 10

13^h	14^h	15^h	16^h	17^h	18^h	19^h	20^h	21^h	22^h	23^h	24^h
+ 5	+ 1	0	+ 2	+ 9	+ 17	+ 25	+ 31	+ 31	+ 23	+ 11	— 5

Werden diese Abstände in untenstehender Fig. 1 als Ordinaten eingetragen und die tatsächlich beobachtete Flutkurve konstruiert, so sieht man, daß dieselbe mit der vorberechneten sehr befriedigend übereinstimmt.

Viel rascher und mit einer für alle theoretischen und praktischen Untersuchungen hinreichenden Genauigkeit führt zum Ziele das zuerst von Wegemann[1] in den Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie angegebene und dann von Dr. F. Hopfner für die Gezeitenverhältnisse des Hafens von Triest modifizierte rechnerische Verfahren. Hiebei wird der Verlauf jeder einzelnen Tide durch Eintragen der in Zentimetern ausgedrückten Stundenordinaten in ein Formular dargestellt und geschieht die Anordnung der Tiden in bezug auf mittlere Zeit dadurch, daß man die Zeit des Maximalwertes der Ordinaten, den Kulminationspunkt der Tide, mittels der Formel $t = \frac{-(V+u)+\varkappa}{q}$ berechnet. Diese Operationen werden durch Anwendung von Tabellen sehr vereinfacht.

Fig. 1.



Bedeutet $V_0 + u$ den Wert des astronomischen Arguments im Mittag des 1. Jänner und ΔV seine Änderung bis Mittag desjenigen Tages, für den der Flutverlauf berechnet werden soll, so lassen sich die Ausdrücke $\frac{-(V_0+u)+\varkappa}{q} = W_0$ und $-\frac{\Delta V}{q} = \Delta W$ in Tabellen bringen, wie dies Dr. Hopfner für Triest durchgeführt hat. Der Tabelle I (Funktion W_0) entnimmt man mit der Jahreszahl den Wert der Funktion W_0 und der Tabelle II (Funktion ΔW) mit dem gegebenen Datum den Wert ΔW; die gesuchte Eintrittszeit des Maximums der Teiltide am gegebenen Tag ist dann einfach die Summe der beiden Zahlen W_0 und ΔW. Für einen anderen Ort als Triest ist noch die der Tabelle I beigesetzte Korrektion, welche die Änderung von W_0, hervorgerufen durch die Änderung der Kappazahlen, darstellt, anzubringen. Sind nun auch die fortlaufenden stündlichen Ordinaten (auf mittlere Zeit bezogen) der einzelnen Tiden für die betreffende Station tabuliert, so hat man die Ordinaten der sieben Tiden derart in das Formular einzutragen, daß die der Kulmination der Tide zukommende Maximalordinate in jene Zeile eingesetzt wird, welche der Stunde der Kulminationszeit der Tide entspricht und folgen dann nach abwärts von Stunde zu Stunde die weiteren Ordinaten. Nach obenzu geschieht die Eintragung in umgekehrter Reihenfolge. Die Ordinatentabelle (III) wurde nach dem Vorgange Dr. Hopfners auch für die halben Stunden berechnet und wird man diese letzteren Ordinatenwerte dann benützen, wenn die Kulminationszeit der Tide 0^h3 bis 0^h7 mehr als die vorangegangene ganze Stunde aus-

[1] Eine einfache Methode der Gezeitenberechnung mittels der harmonischen Konstanten für den praktischen Gebrauch von Dr. G. Wegemann, Rendsburg. Annalen der Hydr. u. Meteorologie, Okt. 1907. Siehe auch H. Frochot, Le Calcul des Marées, Tafeln, p. 103—112.

macht. Es sind dann zu Beginn die dem Maximalwert unmittelbar vorangehenden und folgenden halbstündigen Tabellenwerte in jene Zeilen der ganzen Stunden einzutragen, zwischen die die Kulminationszeit der Teiltide fällt.

Das nachfolgende Beispiel soll das Rechenschema veranschaulichen.

Berechnung des Gezeitenverlaufes für den 27. Mai 1913 für Pola.

	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Tabelle I, W_0......	$9^{h}3$	$4^{h}2$	$6^{h}7$	$2^{h}4$	$15^{h}8$	$17^{h}5$	$6^{h}8$
Korrektion auf Pola.	— 0·3	— 0·3	— 0·4	— 0·2	0·0	— 0·2	+ 0·5
Tabelle II, ΔW.....	...[1]	11·1	2·3	2·4	14·4	9·6	7·5
Summe..	9·0	15·0	8·6	4·6	30·2	26·9	14·8
Periode[2]..........	...	12·4	.	.	23·9	24·1	.
Kulminationszeit....	9·0	2·6	8·6	4·6	6·3	2·8	14·8 M. O. Z

Sodann mit Benutzung der Tabelle III:

M. O. Z.	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O	Summe	Bezogen[3] auf das Mittelwasser	Beobachtete Gezeit
0^{h} Mittag	10	25	5	3	18	9	1	71	+ 1	— 3
1	6	31	4	4	22	9	0	76	+ 6	+ 4
2	3	35	3	6	26	10	0	83	+ 13	+ 11
3	1	35	3	7	30	10	0	86	+ 16	+ 16
4	3	31	4	7	32	10	1	88	+ 18	+ 19
5	6	25	5	7	34	9	1	87	+ 17	+ 18
6	10	17	6	7	35	9	2	86	+ 16	+ 16
7	14	10	7	6	35	8	3	83	+ 13	+ 14
8	17	6	7	4	34	6	4	78	+ 8	+ 11
9	19	5	7	3	32	5	6	77	+ 7	+ 8
10	17	8	7	3	30	4	7	76	+ 6	+ 6
11	14	14	6	3	26	2	8	73	+ 3	+ 3
12	10	22	5	3	22	1	9	72	+ 2	+ 1
13	6	29	4	4	18	1	9	71	+ 1	0
14	3	34	3	6	14	0	10	70	0	— 1
15	1	35	3	7	10	0	10	66	— 4	— 4
16	3	33	4	7	8	0	10	65	— 5	— 7
17	6	27	5	7	6	1	9	61	— 9	— 11
18	10	20	6	7	5	1	9	58	— 12	— 14
19	14	13	7	6	5	2	8	55	— 15	— 18
20	17	7	7	4	6	4	7	52	— 18	— 20
21	19	5	7	3	8	5	6	53	— 17	— 19
22	17	6	6	3	11	6	4	53	— 17	— 16
23	14	11	5	3	14	8	3	58	— 12	— 10

Die berechnete Flutkurve zeigt somit eine ganz befriedigende Übereinstimmung mit der wirklich beobachteten.

---

[1] Für die S_2-Tide ist zu allen Zeiten $\Delta W = O$.

[2] Ist die Summe $W_0 + \Delta W$ größer als die Periode der betreffenden Tide, so ist letztere oder ein Vielfaches hievon von der Summe in Abzug zu bringen.

Die Tiden haben auf Zehntelstunden abgerundet die nachstehenden Perioden:

S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
$12^{h}0$	$12^{h}4$	$12^{h}7$	$12^{h}0$	$23^{h}9$	$24^{h}1$	$25^{h}8$
$24^{h}0$	$24^{h}8$	$25^{h}3$	$23^{h}9$	$47^{h}9$	$48^{h}1$	$51^{h}9$

Ergibt sich bei Tide O eine Uhrzeit größer als $24^{h}0$ und kleiner als $25^{h}8$, so hat diese Tide am gegebenen Tage kein Hochwasser.

[3] Von der Ordinatensumme wurde die Zahl 70 abgezogen.

Die Tabellen I und II stammen aus Dr. Hopfner's Aufsatz »Die Gezeiten im Hafen von Triest«; Tabelle III wurde für alle Stationen mit Ausnahme von Triest neu berechnet, und zwar vom Hafen Cigale angefangen weiter gegen Süd auf halbe Zentimeter genau. Zur Einrichtung dieser Tabelle wird noch bemerkt, daß bei den Tidenordinaten gewisse Beträge hinzuaddiert wurden, um negative Zahlen zu vermeiden; diese Beträge sind am Kopfe der Tabellen unter dem Tidensymbol vermerkt und ist ihre Summe von der jeder Stunde entsprechenden Ordinatensumme abzuziehen, um die auf Mittelwasser bezogenen Ordinaten zu erhalten.

Aus dem Verlauf der stündlichen Wasserhöhen vom 27. Mai ersieht man, daß an diesem Tag nur ein Hochwasser und ein Tiefwasser eingetreten waren und daß diese Extremwerte ungefähr um 4^h [1] beziehungsweise 20^h stattgefunden haben. Will man ihre Eintrittszeiten genauer bestimmen, so kann dies sehr einfach mittels der Interpolationsrechnung [2] geschehen, wenn man sich auf die drei größten, beziehungsweise kleinsten unter den Ordinaten in der Umgebung der Extremwerte beschränkt. Die Korrektion Δt in Zehntelstunden, die zur vollen Stunde der größten, beziehungsweise kleinsten unter den drei Ordinaten hinzuzufügen ist, um die genaue Uhrzeit des betreffenden Extrems zu finden, ergibt sich aus der Formel:

$$\Delta t = -\frac{\Delta_1 M}{\Delta_2}$$

worin $\Delta_1 M$ das Mittel der ersten Differenzen und Δ_2 die zweite Differenz der Ordinaten bedeutet. Im obigen Beispiele erhalten wir die Eintrittszeit des Niedrigwassers, wie folgt:

Stunde	Ordinate	1. Differenz	2. Differenz
19	15	— 3	
20	18		+ 4
21	17	+ 1	

$$\Delta t = -\left(\frac{-1}{+4}\right) = 0^h.25$$

somit die Uhrzeit des Niedrigwassers $20^h.25$.

In der Praxis handelt es sich aber zumeist nicht um den ganzen Flutverlauf, sondern um die Eintrittszeit des ersten oder zweiten Hochwassers an einem bestimmten Tag und um diese Aufgabe zu lösen, ist nur eine ganz einfache Rechenoperation notwendig, die aber die Kenntnis der mittleren Hafenzeit und der halbmonatlichen + täglichen Ungleichheit in Zeit für den betreffenden Küstenpunkt voraussetzt.

Hafenzeit. Das Zeitintervall zwischen der wahren Sonnenzeit der oberen Kulmination des Voll- oder Neumondes und dem darauf folgenden nächsten Hochwasser wird, wie bekannt, als Hafenzeit bezeichnet. Diese Größe variiert aber von einer Springflut zur andern und nennt man ihren Mittelwert, der unter der Voraussetzung zustande kommt, daß Sonne und Mond in mittlerer Entfernung von der Erde und überdies im Äquator stehen — also nur die Haupttiden M_2 und S_2 zur Geltung kommen — die mittlere oder verbesserte Hafenzeit.

Diese Voraussetzung trifft auch zu, wenn die Berechnung der Hafenzeit auf die Flutaufzeichnungen eines halben oder ganzen Jahres oder einem Vielfachen hiervon ausgedehnt wird, da sich dann die Wirkungen aller Teiltiden mit Ausnahme von M_2 und S_2 gegenseitig aufheben. Unter dieser Annahme gilt für die Höhe y des Hochwassers die Gleichung:

$$y = H_{S_2} \cos(2t - \varkappa_{S_2}) + H_{M_2} \cos[2t - 2(s-h) - 2(\nu-\xi) - \varkappa_{M_2}],$$ [3]

[1] In diesem Aufsatze ist durchwegs die astronomische Zeitrechnung zur Anwendung gekommen.

[2] Siehe die »Gezeiten im Hafen von Triest« von Dr. F. Hopfner. p. 29.

[3] Nach H. Frochot »Le calcul des marées«, p. 43.

worin t die mittlere Zeit, H_{S_2} und H_{M_2} die halbe mittlere Amplitude der S_2- und M_2-Tide, $\varkappa_{S_2}$ und $\varkappa_{M_2}$ ihre Kappazahlen und s, h, ν und ξ Bahnelemente von Sonne und Mond bezeichnen, deren Bedeutung aus Börgens Abhandlung »Die harmonische Analyse der Gezeitenbeobachtungen« zu ersehen ist.

Wenn bei den Syzygien Sonne und Mond im Äquator stehen, somit die Mondbahn den Äquator im Frühlingspunkt schneidet, ist $\nu = \xi = 0$. Zur Zeit des wahren Mittags ist $s-h$ ebenfalls $= 0$, aber zur Zeit des Hochwassers, das wegen der Verspätung der Tiden nicht auf den wahren Mittag fällt, sondern später eintritt, wird $s-h$ schon einen bestimmten Wert erreicht haben, den wir mit φ bezeichnen und durch Näherung bestimmen wollen.

Die obige Gleichung nimmt dann die Form an:

$$y = H_{S_2} \cos 2\left(t - \frac{\varkappa_{S_2}}{2}\right) + H_{M_2} \cos 2\left(t - \varphi - \frac{\varkappa_{M_2}}{2}\right).$$

Setzen wir noch

$$x = t - \varphi - \frac{\varkappa_{M_2}}{2}, \text{ so ist}$$

$$t = x + \varphi + \frac{\varkappa_{M_2}}{2}.$$

Dieser Wert von t in die Gleichung für y eingesetzt, haben wir

$$y = H_{S_2}\left[\cos 2\left(x + \varphi + \frac{\varkappa_{M_2}}{2} - \frac{\varkappa_{S_2}}{2}\right) + \frac{H_{M_2}}{H_{S_2}} \cos 2x\right].$$

Es ist nun zu ermitteln, für welchen Wert von x, y den Maximalbetrag erreicht. Hierzu differenzieren wir den Ausdruck nach x und setzen den ersten Differentialquotienten

$$\frac{dy}{dx} = -H_{S_2}\left[2 \sin 2\left(x + \varphi + \frac{\varkappa_{M_2}}{2} - \frac{\varkappa_{S_2}}{2}\right) + \frac{H_{M_2}}{H_{S_2}} 2 \sin 2x\right] = 0.$$

Es ist dann:

$$\sin 2\left(x + \varphi + \frac{\varkappa_{M_2}}{2} - \frac{\varkappa_{S_2}}{2}\right) = -\frac{H_{M_2}}{H_{S_2}} \sin 2x.$$

Wird $\varphi + \frac{\varkappa_{M_2}}{2} - \frac{\varkappa_{S_2}}{2} = \alpha$ gesetzt, der Sinus der Summe entwickelt und durch $\cos 2x$ dividiert, so ergibt sich:

$$\sin 2(x + \alpha) = -\frac{H_{M_2}}{H_{S_2}} \sin 2x,$$

$$\sin 2x \cos 2\alpha + \sin 2\alpha \cos 2x = -\frac{H_{M_2}}{H_{S_2}} \sin 2x,$$

$$\tan 2x \cos 2\alpha + \sin 2\alpha = -\frac{H_{M_2}}{H_{S_2}} \tan 2x,$$

$$\tan 2x = \frac{-\sin 2\left(\varphi + \frac{\varkappa_{M_2}}{2} - \frac{\varkappa_{S_2}}{2}\right)}{\frac{H_{M_2}}{H_{S_2}} + \cos 2\left(\varphi + \frac{\varkappa_{M_2}}{2} - \frac{\varkappa_{S_2}}{2}\right)}$$

Für den vorstehenden Wert x erreicht y sein Maximum.

Wir haben somit x bei Benutzung der bekannten Werte der Amplituden und Kappazahlen der M_2- und S_2-Tide und des Näherungswertes von φ zu berechnen und resultiert dann

$$t^0 = x + \varphi + \frac{\varkappa_{M_2}}{2},$$

mithin die Hafenzeit $T = \frac{t^0}{15}$.

Mittels der harmonischen Konstanten für Pola:

$$H_{M_2} = 15 \cdot 1\ cm, \quad \varkappa_{M_2} = 264°5,$$
$$H_{S_2} = 8 \cdot 7\ cm, \quad \varkappa_{S_2} = 270 \cdot 8$$

erhalten wir $T = 9^h\ 5^m$.

Wenn nur die Tiden M_2 und S_2 in Berücksichtigung gezogen werden, ergibt sich somit für Pola als Hafenzeit $9^h\ 5^m$. (M. O. Z.)

Halbmonatliche Ungleichheit. Die von einer Springflut zur nächsten wechselnden Abweichungen des Zeitintervalls, Hochwasserzeit — wahre Kulminationszeit des Mondes gegenüber der mittleren Hafenzeit wird allgemein als die halbmonatliche Ungleichheit bezeichnet. Die dabei zwischen dem Nachmittags- und Vormittagshochwasser auftretenden Differenzen, die sich im Laufe eines Tages ausgleichen, nennt man die tägliche Ungleichheit in Zeit. Letztere ist in der Adria wegen der kräftig entwickelten ganztägigen Tiden so groß, daß die mittleren halbmonatlichen Ungleichheiten, deren empirische Berechnung eingangs beschrieben worden ist, sich auch für eine genäherte Berechnung der Hochwasserzeit nicht eignen und wird die sonst übliche Berechnung der Hochwasserzeiten mittels Hafenzeit und mittlerer halbmonatlicher Ungleichheit auf Adriatischen Stationen besonders dann versagen, wenn der Mond nahe dem ersten oder letzten Viertel steht, bei welcher Phase sehr oft Eintagsfluten zur Entwicklung kommen.

Es ist aber leicht einzusehen, daß die halbmonatliche + tägliche Ungleichheit sich dennoch in eine für immer gültige Tafel mit den Argumenten »wahre Zeit der Mondeskulmination« und »Datum« bringen läßt, wenn erstens der Einfluß der elliptischen Mondtide weggelassen und zweitens die durch Änderung der Neigung der Mondbahn, beziehungsweise der Lage des aufsteigenden Knotens hervorgerufenen Variationen in den Koeffizienten und astronomischen Argumenten der Tiden M_2, O, P, K_1 und K_2 vernachlässigt werden können.

Diese Bedingungen treffen nun für die Adria vollkommen zu. Für Pola beträgt zum Beispiel die Amplitude der großen elliptischen Mondtide nur $2 \cdot 3\ cm$, ferner haben wir gesehen, daß bei der Hauptmondtide M_2 und bei der großen Lunisolartide K_1 die durch die Schwankungen der Mondbahn hervorgerufenen Änderungen in den Tidenkoeffizienten nur $0 \cdot 57$ beziehungsweise $1 \cdot 76\ cm$ ausmachen; es ist somit für die Adriatischen Stationen durchaus zulässig in den Tidengleichungen die Koeffizienten R durch ihre Mittelwerte H zu ersetzen und auch für die im astronomischen Teil des Arguments vorkommenden Größen ν, ξ, ν' und $2\nu''$ den Mittelwert 0 (Länge des aufsteigenden Knotens $= 0° = 180°$) zu substituieren. Diese Vereinfachungen benützend, habe ich zur Berechnung der Tafeln für die halbmonatlichen + täglichen Ungleichheiten, sowie für die Hochwasserhöhen ein graphisches Verfahren angewendet, zu dem die folgenden Überlegungen führten:

Da die Hauptsonnentide S_2, auf mittlere Zeit bezogen, jeden Tag die gleiche Position hat, die Tiden K_1 und K_2 bei Annahme konstanter Bahnverhältnisse des Mondes ($N = 0° = 180°$) und P unter allen Umständen eine im Laufe des Jahres gleichmäßige Verschiebung gegen die S_2-Tide aufweisen, sie somit von der jeweiligen Mondstellung ganz unabhängig sind, muß auch die Resultierende dieser vier Tiden im Laufe des Jahres sukzessive, aber für jedes Jahr gleichbleibende Änderungen zeigen und läßt sich diese Resultierende für jeden beliebigen Tag durch Synthese der Partialwellen konstruktiv ermitteln. Es ist aber durchaus hinreichend, diese Konstruktion nur für einige äquidistante Zeitpunkte zum Beispiel für die Längen der Sonne 0°, 30°, 60°, ... 330° vorzunehmen und erhält

man sonach 12 Blätter mit den Partialwellen S_2, P, K_1, K_2 und der Resultierenden dieser Wellen, die wir R_S nennen wollen. Das Einzeichnen der vier Partialtiden und die Konstruktion der Resultierenden R_S geschieht nach der auf p. 11 skizzierten Methode.

Der zweite Teil der Arbeit besteht nun darin, R_S mit den Tiden M_2 und O sukzessive für die Kulminationszeiten des Mondes 0^h, 1^h, 2^h .... 12^h zu verbinden. Hierzu brauchen wir je eine Oleate mit der M_2- und O-Tide. Zuerst wird M_2 aufgetragen, indem man die M_2-Oleate derart auf das erste Papierblatt ($h = 0$) mit der R_S-Kurve legt, daß der Schnittpunkt der aufsteigenden M_2-Welle sukzessive auf $6^h\ 1^m$, $7^h\ 1^m$, $8^h\ 1^m$ .... $18^h\ 1^m$[1] der in Zeit geteilten Mittelwasserlinie zu liegen kommt und werden die M_2-Wellen für die Mondeskulminationszeiten von Stunde zu Stunde nach einander durchgepaust. Sodann schreitet man zum Einzeichnen der O-Tide. Hierfür müßten eigentlich die Schnittpunkte dieser Tide, $\frac{-(V+u)+\varkappa-90°}{q}$, für jedes Blatt und für jede Kulminationszeit des Mondes ausgerechnet werden, es genügt aber für jedes Blatt die Berechnung des ersten Schnittpunktes (Mondeskulmination 0^h). Die weiteren Schnittpunkte kann man mit dem Zirkel abstecken, indem man die Strecke für $2^h\ 47^m$, das ist der Zeitbetrag, um den sich der Schnittpunkt der O-Tide im Sinne der Zeitskala verschiebt, wenn der Schnittpunkt der M_2-Tide um eine Stunde weitergerückt ist, in den Zirkel nimmt und diese Strecke auf der Zeitskala aufträgt.

Nach dem Durchpausen der O-Tiden befinden sich dann auf dem Papierblatt die R_S-Kurven und — den Mondeskulminationen 0^h, 1^h, 2^h .... 12^h entsprechend — je eine Reihe der M_2- und O-Wellen. Wir haben nun diese Wellen für die einzelnen Kulminationszeiten des Mondes nach dem Prinzipe der Superposition durch sukzessives Abstecken der Ordinaten in der früher erläuterten Weise zu vereinigen, wobei es genügt nur das der Kulmination zunächstliegende Stück der Resultante einzuzeichnen. Zur leichteren Übersicht empfiehlt es sich, das Durchpausen der O-Wellen nicht nacheinander auszuführen, sondern mit jeder eingezeichneten O-Tide zuerst die Resultierende für die betreffende Kulminationsstunde zu ermitteln und dann erst zum Durchpausen der nächsten O-Tide zu schreiten.

Aus dem eingezeichneten Stück der Resultierenden läßt sich ohne Schwierigkeit die Zeit des Hochwassers und dessen Höhe in den meisten Fällen mit durchaus befriedigender Genauigkeit entnehmen; nur bei den sehr flach verlaufenden kleinen Hochwassern in der Nähe der Quadraturen konnte die Eintrittszeit mit etwas geringerer Schärfe festgestellt werden.

In gleicher Weise hat man beim zweiten Blatt ($h = 30°$) vorzugehen usf., bis zum zwölften Blatt und sind dann für jedes Blatt die Differenzen der Eintrittszeiten der Hochwasser und der Hafenzeit (für Pola $9^h\ 5^m$) zu bilden. Diese Differenzen repräsentieren die halbmonatlichen Ungleichheiten für die Sonnenlängen 0°, 30°, 60° .... 330°. Um aber als Argument der Tafeln statt der mittleren Sonnenlängen das Datum benutzen zu können, habe ich zunächst auf Millimeterpapier die den einzelnen Kulminationsstunden des Mondes zukommenden Kurven der halbmonatlichen Ungleichheit in der Weise eingezeichnet, daß die Ordinaten dem Betrage der Ungleichheit, die Abszissen der mittleren Sonnenlänge entsprachen. Auf der Abszissenachse wurde sodann die Lage des 1. und 15. eines jeden Monats ermittelt und für diese Abszissen die dazugehörenden Ordinaten herausgenommen.

Nach entsprechendem Ausgleich konnte zur Zusammenstellung der Tabellen IV, p. 87—92 geschritten werden.

Die Berechnung der Hochwasserhöhen, Tabelle V, p. 93—98, geschah durch direktes Abstecken des jeweiligen Abstandes des höchsten Punktes der Kurve vom Mittelwasser und wurden dann ebenfalls mittels graphischen Ausgleich die Werte der Hochwasser für den 1. und 15. eines jeden Monats ermittelt.

[1] Bei der Konjunktion d. i. $s = h$ und für $h = 0°$ ergibt sich in Pola für den Schnittpunkt der M_2-Tide $\frac{-(V+u)+\varkappa_{M_2}-90°}{28 \cdot 98} = 6^h\ 1^m$ und für die O-Tide $\frac{-(V+u)+\varkappa_0-90°}{13 \cdot 94} = 17^h\ 23^m$ usw.

Für die bei Mondeskulminationen größer als 12^h stattfindenden Hochwassern war eine separate Berechnung nicht notwendig, da bei um 180° verschiedenen Sonnenlängen die Resultierenden aus S_2, P, K_1 und K_2 denselben Verlauf zeigen und nur die Eintrittszeiten der Extreme um 12^h verschieden sind. Beträgt also die dem Eintritt des Hochwassers vorangehende obere oder untere Kulminationszeit des Mondes zum Beispiel 13^h, so wird man zwar auch in die Zeile für $13-12^h=1^h$ einzugehen, aber die untere Datumrubrik zu benutzen haben, weil die in dieser Vertikalrubrik enthaltene Korrektion einer um 180° verschiedenen Länge zukommt als die Korrektion bei Eingang mit der oberen Datumrubrik.

Auf die in den Schaltjahren eintretende Datumverschiebung wurde dabei keine weitere Rücksicht genommen.

Alter der Flut. Definieren wir als das Alter der Flut dasjenige Zeitintervall, um welches die Springflut, das heißt die Koinzidenz der M_2- und S_2-Tide später stattfindet als die Konjunktion oder Opposition der fluterzeugenden Gestirne, so läßt sich dieses Zeitintervall folgendermaßen bestimmen.

Zur Koinzidenz von M_2 und S_2 müssen die Werte $H_{M_2} \cos (q_{M_2} t - \beta_{M_2})$ und $H_{S_2} \cos (q_{S_2} t - \beta_{S_2})$ zur selben Zeit t ihr Maximum erreichen, somit der $\cos = 1$ werden. Es muß also, auf Gleichung $V + u - \varkappa = 0° = 360°$ übergehend und die Argumente der M_2- und S_2-Tiden eingesetzt,

$$M_2 \ldots\ldots 2t + 2(h-s) - 2(\nu - \xi) - \varkappa_{M_2} = 0° = 360° \text{ und}$$
$$S_2 \ldots\ldots 2t - \varkappa_{S_2} = 0° = 360° \text{ sein.}$$

Der Wert von $2t = \varkappa_{S_2}$ aus der unteren in die obere Gleichung eingesetzt, haben wir dann

$$\varkappa_{S_2} - \varkappa_{M_2} + 2(h-s) - 2(\nu - \xi) = 0° = 360°.$$

$\nu - \xi$ variiert innerhalb einer Mondperiode, das ist 18·6 Jahre zwischen $-1°$ und $+1°$. Setzen wir den Mittelwert 0 und die aus der harmonischen Analyse bekannten Werte von $\varkappa_{S_2}$ und $\varkappa_{M_2}$ in die obige Gleichung ein, so erhalten wir:

$$6\overset{\circ}{.}4 + 2(h-s) = 0° = 360°$$
$$6\overset{\circ}{.}4 = 2(s-h) \text{ und}$$
$$s - h = 3\overset{\circ}{.}2 = 183\overset{\circ}{.}2.$$

Wenn wir uns weiter daran erinnern, daß die Änderung der Länge der Sonne auf ihrer Bahn in der Ekliptik (η) 0°04 pro Stunde, jene des Mondes (σ) 0°55 betragen und $\sigma - \eta$ 0°51 ausmacht, so ergibt sich das Alter der Flut im Mittel

$$\frac{3 \cdot 2}{0 \cdot 51} = 6\overset{h}{.}3 = \tfrac{1}{4} \text{ Tag.}$$

Die Extremwerte variieren innerhalb einer Mondperiode zwischen $8\overset{h}{.}2$ und $4\overset{h}{.}3$. Wegen der geringen Differenz der Verspätungen der Hauptsonnen- und Mondtide beträgt also für Pola das Alter der Flut nur $^1/_4$ Tag, wir können somit sagen, daß die Springgezeiten am selben Tage stattfinden, an dem die Syzygien (Voll- und Neumond) eintreten. Die eintägigen Tiden haben wegen ihrer nur langsamen Verschiebungen gegen M_2 und S_2 auf das Alter der Flut keinen merklichen Einfluß.

Koinzidenzerscheinungen der Partialtiden. Um den Anteil der einzelnen Tiden auf den Aufbau der Flutkurven und damit den Zusammenhang des Gezeitenverlaufes mit der jeweiligen Mondstellung und der Jahreszeit kennen zu lernen, wollen wir zunächst die Koinzidenzerscheinungen der einzelnen Tiden untereinander einer Betrachtung unterziehen. Der hierbei einzuschlagende Weg wurde schon bei der Ermittlung des Alters der Flut angedeutet. Um z. B. die Koinzidenzen[1] der Tiden M_2

[1] Hier und in der Folge bezeichnet Koinzidieren von Tiden das Zusammenfallen der Wellenberge oder Wellentäler, während bei der Interferenz dem Wellenberg der einen Tide das Wellental der anderen Tide gegenübersteht.

und N zu berechnen, werden wir in der Grundgleichung $V + u - \varkappa = 0° = 360°$ die Argumente und die aus der harmonischen Analyse bekannten Kappazahlen der Tiden M_2 und N einsetzen und dann die Zeit t zu eliminieren haben. Für M_2 und N haben wir:

$$M_2 \ldots\ldots 2t + 2(h - s) - 2(\nu - \xi) - \varkappa_{M_2} = 0° = 360° \text{ [1]}$$
$$N \ldots\ldots 2t + 2(h - s) - 2(\nu - \xi) - (s - p) - \varkappa_N = 0° = 360°.$$

$2t$ aus der oberen Gleichung bestimmt und in die untere eingesetzt, gibt: $\varkappa_{M_2} - \varkappa_N - (s - p) = 0° = 360°$ und nach Substitution der Kappazahlen für M_2 und N

$$s - p = -7°3.$$

Es findet somit die Koinzidenz dieser beiden Tiden einmal im anomalistischen Monat statt, sobald $s - p = -7°3$ ist, d. h. wenn p, die Länge des Perigäums, um $7°3$ größer ist als die Mondlänge s. Berücksichtigen wir weiter, daß die Bewegung des Mondes in seiner Bahn (σ) $0°549$ pro Stunde und jene des Perigäums (ω) $0°004$ ausmachen, so ist $\sigma - \omega = 0°545$ und $-\dfrac{7 \cdot 3}{0 \cdot 545} = -13^h4$. Es findet demnach die Koinzidenz etwa einen halben Tag früher statt, als der Mond auf seiner Bahn das Perigäum erreicht. Die N-Tide wirkt also — wie dies auch nicht anders zu erwarten war — in der Erdnähe des Mondes verstärkend, zur Zeit der Erdferne schwächend auf die Hauptmondflut, so daß im Perigäum der Tidenhub von M_2 und N allein 34·8 *cm*, im Appogäum 25·5 *cm* ausmachen würde.

Dieses Verfahren auf die in Betracht kommenden Kombinationen der Haupttiden angewendet, erhalten wir, die Länge (N) des aufsteigenden Knotens $= 0° = 180°$ angenommen, folgendes Koinzidenzenschema:

Es koinzidieren: M_2 und S_2 bei Voll- und Neumond.
» » M_2 » N im Perigäum.
» » K_2 » S_2 bei den Äquinoktien,
» » K_2 » M_2 bei $s = 2° = 182°$; $\delta_☾$ nahe an $0°$.
» » O » M_2 {Hochwasser bei $s = 160° = 340°$; $\delta_☾ = \pm 10°$ [$\pm 6°$] [2] ($\mp$). [3]
Niedrigwasser bei $s = 250° = 70°$; $\delta_☾ = \pm 27°$ [$\pm 17°$] ($\pm$).}
» » P » S_2 {Hochwasser am 28. August (I) und 27. Februar (II). [4]
Niedrigwasser am 29. Mai (II) und 27. November (I).}
» » K_1 » S_2 {Hochwasser am 15. April (I) und 14. Oktober (II).
Niedrigwasser am 15. Juli (II) und 13. Jänner (I).}
» » K_1 » M_2 {Hochwasser bei $s = 26° = 206°$; $\delta_☾ = \pm 12°$ [$\pm 8°$] ($\pm$).
Niedrigwasser bei $s = 116° = 296°$; $\delta_☾ = \pm 26°$ [$\pm 16°$] ($\mp$).}
» » P » O bei den Syzygien.
» » K_1 » P bei den Solstitien.
» » K_1 » O bei $s = 93° = 273°$; $\delta_☾$ max.

Aus diesem Schema resultiert ferner, daß die folgenden Koinzidenzen nicht stattfinden können: $M_2 K_1 O$, $M_2 K_2 O$, $S_2 P K_1$, $S_2 P K_2$, $M_2 K_1 K_2$ und $S_2 K_1 K_2$.

Das Koinzidieren von M_2 und S_2 bei den Syzygien, von M_2 und N bei der Mondstellung im Perigäum und endlich von S_2 und K_2 bei den Äquinoktien, beziehungsweise von M_2 und K_2 beim Äquatorstand des Mondes sind Erscheinungen, die annähernd überall beobachtet werden, ebenso das

---

[1] Siehe »Die harmonische Analyse der Gezeitenbeobachtungen« von Prof. Dr. Börgen, p. 502—503.

[2] Die unter eckigen Klammern stehenden Werte der Mondesdeklination beziehen sich auf $N = 180°$.

[3] Das Zeichen + oder — nach dem Deklinationsbetrag bedeutet eine nördlich bezw. südlich gerichtete Bewegung des Mondes.

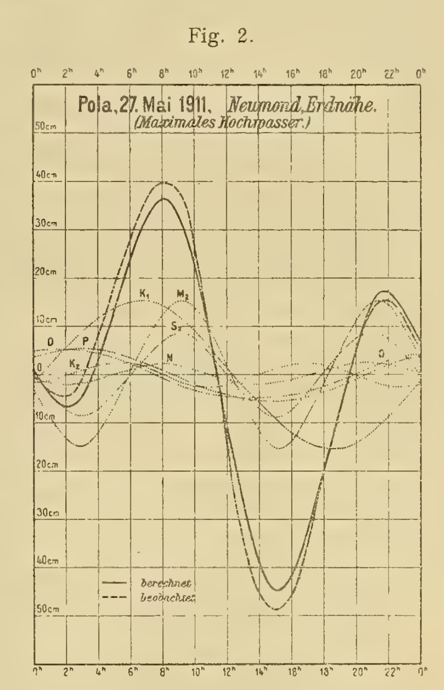
[4] Die römischen Zahlen bezeichnen das erste bezw. zweite Hoch- oder Niedrigwasser nach 0^h.

Zusammenfallen der Phasen der Deklinationstiden P und K_1 zur Zeit der Solstitien und von O und K_1 bei maximalen Monddeklinationen. Betreffs des Zusammenwirkens der Deklinationstiden O und K_1 mit der Hauptmondtide M_2 ergibt sich aber, daß in Pola eine Koinzidenz dieser drei Tiden nicht möglich ist, indem das Zusammenfallen der Phasen von O und M_2 einerseits, beziehungsweise K_1 mit M_2 andrerseits wohl bei so ziemlich gleichen Deklinationen aber bei um 134° verschiedenen Mondlängen stattfindet. Bei maximalen Deklinationen können somit die Tiden K_1 und O die Fluthöhe von M_2 nicht mit ihrer ganzen Amplitude verstärken. Ähnlich verhält es sich mit der Hauptsonnentide S_2, die auch nicht gleichzeitig mit P und K_1 in Koinzidenz treten kann, da das Zusammenfallen der Phasen von P und S_2 um vier Monate später eintritt als jenes von K_1 und S_2.

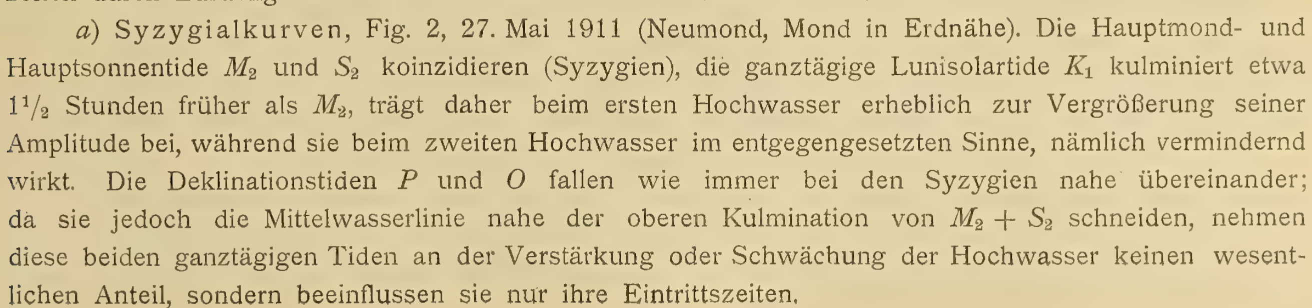
Untereinander koinzidieren die Deklinationstiden O und P bei der Konjunktion und Opposition von Sonne und Mond, somit bei Neu- und Vollmond, zu welcher Zeit diese beiden Deklinationstiden in gleichem Sinne verstärkend oder schwächend wirken und wird das Maß ihrer Beeinflussung der M_2+S_2-Tide von ihren jeweiligen Situationen gegen diese Haupttiden abhängen. Bei den Quadraturen heben sich dagegen die Deklinationstiden P und O gegenseitig auf und kommen bei diesen Konstellationen nur die Tiden M_2, S_2, K_1, K_2 und N in Betracht. Da aber M_2 durch S_2 schon erheblich geschwächt ist — die Fluthöhe sinkt auf 12·8 *cm* — und weil K_2 und N nur kleine Amplituden (2·3 beziehungsweise 2·4 *cm*) aufweisen, ist bei den Quadraturen für den Verlauf der resultierenden Flutkurve hauptsächlich die kräftig entwickelte K_1-Tide mit der Amplitude von 15·6 *cm* ausschlaggebend, die Flutkurve schmiegt sich der K_1-Welle an und, da letztere eine Periode von nahe 24 Stunden besitzt, kommen in der Nähe der Quadraturen Eintagsfluten zustande.

Der großen Amplitude der ganztägigen Lunisolartide K_1, deren jeweilige Situation in erster Linie von der Sonnenlänge abhängt, ist es auch zuzuschreiben, daß sich in den Flutkurven ein jährlicher Gang ausprägen muß, d. h. es wird der Kurvenablauf von Monat zu Monat Verschiedenheiten zeigen, die bei gleichen Mondesphasen von Jahr zu Jahr wiederkehren. Völlig identisch können die Flutkurven aufeinander folgender Jahre bei gleichen Mondeskonstellationen natürlich nicht ausfallen, weil — abgesehen von meteorologischen Einflüssen — erst nach Ablauf von 19 Jahren dieselben Mondesphasen auf den gleichen Tag fallen und weil wegen der periodischen Änderung der Neigung der Mondbahn gegen den Äquator (Änderungen von ν, ν', ν'' und ξ) auch Verschiebungen in den Koinzidenzen der Partialtiden entstehen müssen, die sich erst nach 18·6 Jahren wieder in derselben Reihenfolge wiederholen. Diese sämtlichen Verschiedenheiten sind aber nur sekundärer Natur und wird dadurch der jährliche Gang im Kurvenverlauf nicht wesentlich geändert.

Fig. 2.



Wir wollen nun das Zustandekommen der typischen Flutkurven in ihrem Zusammenhange mit dem Wechsel der Jahreszeiten durch Zurückgehen auf die Partialwellen zu erklären versuchen.



a) Syzygialkurven, Fig. 2, 27. Mai 1911 (Neumond, Mond in Erdnähe). Die Hauptmond- und Hauptsonnentide M_2 und S_2 koinzidieren (Syzygien), die ganztägige Lunisolartide K_1 kulminiert etwa $1^1/_2$ Stunden früher als M_2, trägt daher beim ersten Hochwasser erheblich zur Vergrößerung seiner Amplitude bei, während sie beim zweiten Hochwasser im entgegengesetzten Sinne, nämlich vermindernd wirkt. Die Deklinationstiden P und O fallen wie immer bei den Syzygien nahe übereinander; da sie jedoch die Mittelwasserlinie nahe der oberen Kulmination von M_2+S_2 schneiden, nehmen diese beiden ganztägigen Tiden an der Verstärkung oder Schwächung der Hochwasser keinen wesentlichen Anteil, sondern beeinflussen sie nur ihre Eintrittszeiten.

Bei den Niedrigwassern kommen sie dagegen voll zur Geltung und zwar dergestalt, daß das erste Niedrigwasser um den ganzen Betrag ihrer Amplitudensumme geschwächt, das zweite hingegen um ebensoviel vertieft wird. Da auch die K_1-Tide bei den Niedrigwassern in gleicher Weise wirkt wie P und O, fällt das zweite Niedrigwasser sehr tief aus (45 *cm*), während das erste Niedrigwasser nur schwach entwickelt ist, die tägliche Ungleichheit der Niedrigwasser beträgt 38 *cm*. Die elliptische Mondtide N verstärkt sowohl die Hoch- als auch die Niedrigwasser, weil sich der Mond in Erdnähe befindet. Die Äquinoktialtide K_2 schneidet wie die Deklinationstiden die Mittelwasserlinie nahe der Kulmination von $M_2 + S_2$ und trägt daher zur Erhöhung des ersten Hochwassers nichts bei, während das folgende Niedrigwasser etwas abgeschwächt wird. Fig. 2 stellt jene Tidenkombination dar, bei der sehr große Hochwasser erreicht werden, dabei ist das erste nach Mittag stattfindende Hochwasser das größere und hat es eine Hebung des Wasserspiegels um 36 *cm* zur Folge, beim zweiten Hochwasser steigt das Niveau nur um 17 *cm* und beträgt somit die tägliche Ungleichheit 19 *cm*. Was die Eintrittszeiten der Extreme betrifft, so wird das erste Hochwasser um etwa eine Stunde gegen die Kulminationszeit der M_2-Tide verfrüht, das zweite um ebensoviel verspätet, das erste Niedrigwasser tritt um 40 Minuten früher als der Tiefstand von M_2 ein, das zweite Niedrigwasser erfährt eine Verspätung von ungefähr 20 Minuten.

Von Anfang März bis Mitte August haben die Syzygialkurven im allgemeinen die Form von Fig. 2; ohne Rücksicht auf die Mondesdeklination ist in diesem Halbjahr das erste nach 0^h eintretende Hochwasser das größere. Auf die Kulminationszeit des Mondes bezogen, ist im genannten Zeitabschnitte bei Neumond das erste, bei Vollmond das zweite Hochwasser das größere. Von Ende August bis Ende Februar ist, wie aus Fig. 1 (6. Jänner 1909) zu ersehen, die Anordnung der Extreme umgekehrt, da dann das erste nach 0^h auftretende Hochwasser das kleinere ist, desgleichen kommt der größte Tiefstand des Wassers zu dieser Zeit beim ersten Niedrigwasser zustande.

Auf empirische Weise findet man weiter, daß bei den Syzygien ein gleich tiefer Wasserstand der Niedrigwasser anfangs April und anfangs Oktober also nahe den Äquinoktien zu beobachten ist, während sich die gleich tiefen Niedrigwasser, wie oben erwähnt, um Ende Februar und Ende August einstellen. Im Sommerhalbjahr ist auf den Mittag bezogen das zweite, im Winterhalbjahr das erste Niedrigwasser das tiefere.

Eine halbtägige Flutkurve mit gleich hohen Hoch- und Niedrigwassern, d. h., eine vollkommen regelmäßige Sinuslinie kann aber in Pola nicht zur Aufzeichnung gelangen, da der Einfluß der eintägigen Gezeiten niemals ganz unterdrückt wird. Interferieren nämlich die unter sich koinzidierenden Deklinationstiden P und O mit K_1, so bleibt noch eine eintägige Gezeit von 5·7 *cm* zurück, die mindestens eine Ungleichheit in diesem Betrage entweder in den Hoch- oder in den Niedrigwassern verursachen muß.

Wir wollen jetzt noch die Frage zu beantworten trachten, wann in Pola nach den Ergebnissen der harmonischen Analyse die größten Hochwasser und tiefsten Niedrigwasser stattfinden müssen.

Da die eintägige Tide K_1 nahezu die gleiche Amplitude besitzt wie M_2, werden zunächst die Fluten dann groß ausfallen, wenn M_2, S_2 und K_1 koinzidieren, also bei den Springgezeiten in den Monaten April und Oktober. Es summieren sich dann die Ordinaten der obigen drei Haupttiden. Zu dieser Zeit steht aber die Tide P ungünstig gegen M_2 und S_2, weil sie mit etwa drei Vierteln ihrer Amplitude das Hochwasser der Springflut schwächt. Wie man sich leicht durch Verschieben der Oleaten mit den Tiden K_1 und P überzeugen kann, wird die gegenseitige Lage der ganztägigen Tiden für das Steigen des Hochwassers günstiger, wenn die Sonnenlänge wächst und man sich den Solstitien nähert. Dasselbe gilt aber auch für die Monddeklinationstide O, die bei den Syzygien mit P nahezu zusammenfällt und sich somit die Amplituden dieser beiden Tiden summieren. Auf diese empirische Weise ergibt sich, daß die größten Hochwasser, 38 *cm*, Mitte Mai (erstes Hochwasser) und Mitte November (zweites Hochwasser) zu erwarten sind, sobald Sonne und Mond in Konjunktion oder

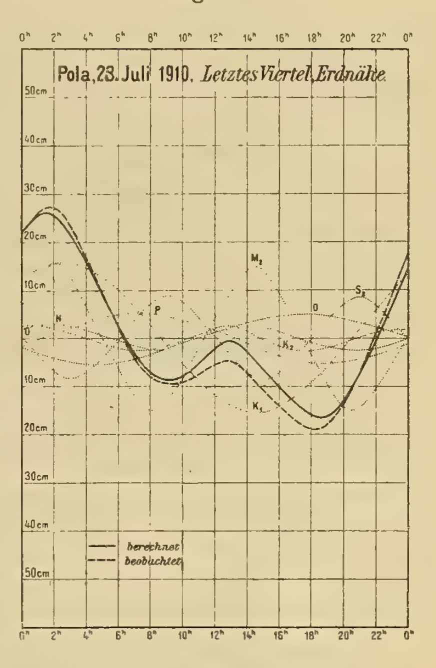
Opposition stehen und der Mond sich im Perigäum befindet, da dann auch die elliptische Mondflut zur Verstärkung des Hochwassers beiträgt.[1]

Bezüglich der Niedrigwasser liegen die Verhältnisse anders. Wie aus dem Koinzidenzschema zu ersehen ist, müssen die tiefsten Niedrigwasser zwischen Ende Mai und Mitte Juli, beziehungsweise zwischen Ende November und Mitte Jänner eintreten, da P und O mit den gleichen Niedrigwassern von $M_2 + S_2$ Ende Mai und Ende November und die große Lunisolar-Tide K_1 mit $M_2 + S_2$ Mitte Juli und Mitte Jänner koinzidieren. Durch entsprechende Verschiebung der Oleaten läßt sich feststellen, daß anfangs Juli (zweites Niedrigwasser) und anfangs Jänner (erstes Niedrigwasser) die größten Senkungen des Wasserspiegels u. zw. bis 48 *cm* unter Mittelwasser zu gewärtigen sind, wobei tägliche Ungleichheiten von 44 *cm* vorkommen, somit das zweite Tiefwasser nur sehr schwach ausgeprägt ist. Wir sehen also, daß die extremen Niedrigwasser eine größere Amplitude besitzen als die maximalen Hochwasser, somit von meteorologischen Störungen abgesehen, in Pola das Wasser tiefer unter das Mittelwasser fallen als steigen kann, welche Erscheinung dem Umstande zuzuschreiben ist, daß bei jenen Situationen der Haupttiden, die zur Bildung der tiefsten Niedrigwasser führen, die Kulminationspunkte der Partialtiden mit Rücksicht auf ihre Verspätungen näher zueinander zu liegen kommen, als in den Fällen der maximalen Hochwasser.

In derselben empirischen Weise gelangen wir zu dem Ergebnisse, daß im Hafen von Pola der größte Tidenhub 84 *cm* kurz nach den Solstitien und in Erdnähe des Mondes beobachtet wird.

b) Quadraturkurven, Fig. 3, 28. Juli 1910 (letztes Viertel, Mond in Erdnähe). Wir haben an diesem Tag eine unregelmäßig verlaufende Flutkurve mit dem Hochwasser um $1^{1}/_{2}^{h}$ und dem Hauptniedrigwasser um 19^h. Weil der Mond sich in der Quadratur befindet, interferieren M_2 und S_2 und geben diese Haupttiden zusammen nur eine schwache Halbtagsgezeit von 6·4 *cm* Amplitude, die durch die K_2- und N-Tide nur um ein geringes verstärkt wird. Da ferner P und O — wie immer beim ersten und letzten Viertel — sich gegenseitig aufheben, bleibt eigentlich nur noch die K_1-Tide übrig, deren Kulmination im vorliegenden Beispiel nahezu mit der vom ersten Hochwasser der M_2-Tide zusammenfällt.

Fig. 3.



Die resultierende Flutkurve schmiegt sich daher hauptsächlich dem Verlauf der K_1-Tide an und beträgt der Tidenhub 42 *cm* bei einem Hochwasser von 26 *cm* und einem Niedrigwasser von 16 *cm*. Um 12^h zeigt sich ein sekundärer Hochstand, wobei aber das Mittelwasser nicht erreicht wird. Diese Unregelmäßigkeit im Kurvenverlauf wird hauptsächlich durch die elliptische Mondtide N bedingt und würde bei der Stellung des Mondes in Erdferne die vorliegende Gezeitenkurve als Eintagsflut verlaufen.

Solche Eintagsfluten, mehr oder minder regelmäßig ausgebildet, sind nahe den Quadraturen sehr häufig und kommen sie zustande, indem von Mitte April bis Ende September das zweite, von anfangs Oktober bis anfangs April das erste Hochwasser nach 0^h verschwinden. Von den Niedrigwassern kommen von Mitte Juli bis anfangs Jänner nur das erste, von Mitte Jänner bis anfangs Juli nur das zweite zur Ausbildung. Betreffs der Eintrittszeiten und Amplituden spielt sich dabei der folgende jahreszeitliche Wechsel ab: Zur Zeit des Frühjahrsäquinoktiums steht der oberen Kulmination der

[1] Die hier angeführten Schwankungen des Wasserspiegels sind theoretische, mit den Amplituden der Partialwellen errechnete mittlere Werte und werden sie in Wirklichkeit, wo dann neben den Tiden höherer Ordnung auch noch die durch meteorologische Faktoren hervorgerufenen Hebungen und Senkungen, vor allen die Seichenbildungen dazukommen, noch um 5 bis 10 *cm* größer ausfallen.

K_1-Tide der Tiefstand der $M_2 + S_2$-Wellen gegenüber, der positive Teil der Flutkurve wird dadurch verflacht und findet anfangs April der Übergang auf das erste Hochwasser statt, indem das zweite Hochwasser verschwindet. Von Mitte April bis Ende September verfrüht sich die Eintrittszeit dieses Hochwassers ziemlich regelmäßig von $5^1/_2{}^h$ bis $0^1/_2{}^h$, seine Amplitude wächst gegen die Solstitien zu und wird nahe der Solstitien der maximale Hochstand (23 *cm* ohne N-Tide) erreicht.[1] Ende September hat dieses Hochwasser an Amplitude schon stark abgenommen und bekommt jetzt das um 18^h einsetzende zweite Hochwasser die Oberhand. Seine Eintrittszeit verfrüht sich gegen den Winter zu ebenfalls ziemlich regelmäßig, und zwar um ungefähr eine Stunde pro Monat, im Dezember entwickelt sich zum zweitenmal die größte Hebung des Wassers 25 *cm* und fällt dieses maximale Hochwasser auf 16^h.

Der Wechsel der Niedrigwasser vollzieht sich nahe den Solstitien. Ende Juni hat sich das bis dahin stark entwickelte zweite Niedrigwasser verflacht und kommt dann das erste Niedrigwasser um 11^h zur Geltung; es verfrüht seine Eintrittszeit in der Folge um ungefähr eine halbe Stunde monatlich und wird zum erstenmal die größte negative Amplitude, 21 *cm*, um 10^h beobachtet. Vom Jänner an dominiert das zweite Niedrigwasser, ebenfalls in seiner Eintrittszeit langsam vereilend, wobei im April die größte negative Amplitude von 23 *cm* gegen 22^h zur Ausbildung gelangt.

Wir beobachten somit beim ersten und letzten Viertel gut entwickelte Hochwasser nahe den Solstitien und zwar gegen 4^h beim Sommer- und gegen 16^h beim Wintersolstitium, die Verfrühung des Hochwassers beträgt ungefähr 1 Stunde von Monat zu Monat. Zur Zeit der Äquinoktien ist der positive Teil der Flutkurve verflacht, der Hochstand des Wassers dauert dann oft 5—6 Stunden, nahe den Solstitien ist der negative Teil der Flutkurve stark abgeflacht und haben wir daher Ende Juni und Ende Dezember, wenn zu dieser Zeit das erste oder letzte Viertel eintritt, langandauernde Niedrigwasser. Die größten Tiefstände bei den Quadraturen werden Mitte April und Mitte Oktober beobachtet, die monatliche Verfrühung bei den Niedrigwassern beträgt durchschnittlich eine halbe Stunde.

Die Erscheinung, daß in Pola die größten Hochwasser der Quadraturkurven eine größere Amplitude aufweisen als die tiefsten Niedrigwasser wird durch die Anordnung der K_2- zur K_1-Tide bedingt. Diese beiden gegeneinander unveränderlich weiter wandernden Tiden geben nämlich eine Resultierende, deren negativer Teil etwas abgeflacht ist, daher die maximalen positiven Ordinaten etwas größer ausfallen müssen als die negativen.

Beim ersten und letzten Mondviertel ist in derselben Jahreszeit der Verlauf der Mareographenkurven völlig gleich; wenn man jedoch die Eintrittszeiten der Hoch- und Niedrigwasser nicht auf den Mittag, sondern auf die Mondeskulmination bezieht, so sind bei diesen Konstellationen die Begriffe erstes und zweites Hochwasser beziehungsweise Niedrigwasser zu vertauschen.

Auch bei den Änderungen im Verlaufe der Flutkurven, die sich beim Übergang von den halbtägigen (Syzygial-) zu den ganztägigen (Quadraturen-)Gezeiten vollziehen, ist ein gewisser jahreszeitlicher Wechsel zu beobachten, der dadurch bedingt ist, daß die Hochwasserzeiten der Syzygialkurven — abgesehen von den Schwankungen in der halbmonatlichen Ungleichheit — das ganze Jahr über auf die gleiche Tageszeit fallen, während die Eintrittszeit des Hochwassers der bei den Quadraturen auftretenden Eintagsflut sich (ebenso wie die K_1-Tide) von Monat zu Monat verfrühen muß.

Dabei findet der Übergang der Syzygialkurven in die Kurven mit einmaligem Hochwasser in der Weise statt, daß in jenen Monaten, in denen die beiden Hochwasser nur wenig differieren, das sind der Februar, März, August und September, das eine der beiden Hochwasser sukzessive sich verflachend direkt in das Hochwasser der Eintagsflut übergeht und das andere verschwindet, während in den übrigen Monaten das Hochwasser mit der größeren Amplitude bei mehr gleichmäßiger Verspätung in der Eintrittszeit in der Nähe der Mondviertel an Höhe abnimmt, so daß kurz vor der Quadratur beide

[1] Wenn in der Folge bei den Quadraturkurven theoretische Werte der Amplitude der Hoch- oder Niedrigwasser angeführt sind, so ist hierbei die in ihrem Einfluß wechselnde elliptische Mondtide N nicht einbezogen.

Hochwasser gleich werden und schließlich das früher schwächere Hochwasser sich zum Hochwasser der Eintagsflut ausbildet. Im April und Oktober ist dabei die Verspätung sehr langsam, es kommt eigentlich nur zu einer Verflachung der Halbtagskurve, aus der sich dann das Hochwasser der Eintagsflut entwickelt.

Beim Übergang von den Quadraturen zu den Syzygien verspätet sich das Hochwasser der Eintagsflut, es nimmt an Höhe zu und geht in das große Hochwasser der Syzygien über, während sich gleichzeitig das zweite Hochwasser der Halbtagstiden ausbildet.

Fluthöhe. Aus den Aufzeichnungen von 1898—1908 resultiert für Pola als mittlere Fluthöhe (Tidenhub), das ist der Abstand von Hoch- und Niedrigwasser 61 *cm*, wobei aber die durch lokale stehende Schwingungen (Seichen) verursachten Schwankungen des Wasserstandes miteinbezogen sind; bei Ausschaltung dieser stehenden Wellen würde sich als mittlere, rein astronomische Fluthöhe 57 *cm*, als Hubhöhe bei den Syzygien (Springflut) 76 *cm* und bei den Quadraturen (Nippflut) 37 *cm* ergeben. Bemerkenswert ist die Erscheinung, daß sowohl in Pola als auch im ganzen Adriagebiete die mittleren Fluthöhen im März und September am kleinsten, im Jänner und Juni am größten sind. Für Pola haben wir zum Beispiel für die einzelnen Monate aus dem Lustrum 1907—1911 die folgenden mittleren Fluthöhen in *cm*:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
65·2	62·6	57·6*	59·4	63·0	**66·8**	65·4	62·2	59·2*	60·6	64·4	64·5

Diese auffällige Erscheinung, die mit den meteorologischen Verhältnissen in keinem Zusammenhange steht, läßt sich durch das Zusammenwirken der Teiltiden ohne Schwierigkeit erklären. Damit in einem bestimmten Zeitraum, zum Beispiel einem Monat, die durch die täglich zueinander wechselnden Situationen der Teiltiden verursachten Variationen der Fluthöhen sich im Mittel ausgleichen, ist erforderlich, daß dieser Zeitraum mindestens so groß ist wie die Koinzidenzperiode der einzelnen Tiden untereinander. In einem Monate werden nun die Tiden M_2, S_2, O und N zweimal mit der K_1-Welle, die täglich um 4^m früher kulminiert, zur Koinzidenz kommen, daher die durch das Zurückbleiben dieser Tiden gegen K_1 entstehenden Differenzen in der Hubhöhe im Monatsmittel verschwinden müssen. K_2 kommt nicht in Betracht, da die Periode dieser Welle halb so groß ist wie K_1, somit die Situation der lunisolaren Wellen gegeneinander im Laufe des Jahres keine Änderung erfährt. Anders sind aber die Beziehungen zwischen K_1 und P. Da K_1 täglich um 4^m früher, P um den gleichen Betrag später kulminieren, beträgt die Verschiebung dieser beiden Wellen gegeneinander in einem Monate vier Stunden. Das Zusammenwirken von K_1 und P kann sich also während eines Monats so gestalten, daß P fortgesetzt verstärkend oder schwächend auf K_1 einwirkt, somit in jenen Monaten, wo die Koinzidenz dieser beiden ganztägigen Tiden stattfindet, eine Vergrößerung, im entgegengesetzten Falle eine Verminderung der mittleren Hubhöhe eintreten muß. Wie aus dem Koinzidenzschema zu ersehen ist, koinzidieren K_1 und P bei den Solstitien und interferieren diese Wellen bei den Äquinoktien; wir haben daher in der Nähe der Sonnenwende größere, in der Nähe der Tag- und Nachtgleichen kleinere mittlere Fluthöhen zu erwarten, was mit der Beobachtung vollkommen übereinstimmt und ist diese Erscheinung in allen Hafenorten wahrzunehmen, wo die Tiden K_1 und P nur wenig verschiedene Kappazahlen besitzen.

Tiden mit langer Periode. Obzwar im Adriatischen Meere mit Rücksicht auf die nur kleine Hubhöhe der Gezeiten und die dafür sehr erheblichen Niveauschwankungen durch meteorologische Faktoren das Vorhandensein der langperiodischen Tiden, das sind die halbjährige Sonnenwelle (*Ssa*), die ganzjährige Sonnenwelle (*Sa*), die Mondwelle von ungefähr 14tägiger Periode (*Mf*) und endlich die Mondwelle mit ungefähr einmonatlicher Periode (*Mm*) nicht zu erwarten war, wurde dennoch eine Untersuchung angestellt, ob nicht ein jährlicher oder halbjährlicher Gang im mittleren Wasserstande nachzuweisen sei. Hierzu wurden für die 10jährige, fast ganz lückenlose Beobachtungsperiode 1899—1908 die mittleren Wasserstände der einzelnen Monate gebildet und ergab sich die folgende Reihe (*cm*):

Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
98·2	102·3	100·1	102·8	102·1	105·0	101·6	102·4	102·4	109·8	111·3	110·9

An dieser Reihe ist noch eine Korrektion wegen Änderung des Luftdruckes am Beobachtungsorte anzubringen. Durch größeren Luftdruck erfährt die Wasseroberfläche eine Depression und da das Quecksilber 13·2mal schwerer ist als das Wasser, haben wir die mittlere Abweichung der Monatsmittel vom Jahresmittel mit 13·2 zu multiplizieren. Aus derselben Beobachtungsreihe resultierten für die 12 Monate die nachfolgenden mittleren Abweichungen des Luftdruckes in *mm*:

+3·90 —0·28 —0·58 —1·95 —0·57 —0·78 —0·24 +0·20 +0·43 +1·08 +1·46 +0·36.

Diese Beträge 13·2mal genommen und mit ihrem Zeichen an die mittleren Wasserstände der betreffenden Monate angebracht, erhalten wir folgende vom Einfluß der Luftdruckschwankungen am Beobachtungsort befreite Reihe für die Differenzen der Monatsmittel gegen den mittleren Wasserstand in *cm*:

—1·1 —2·5 —5·1 —4·2 —3·1 —0·4 —3·1 —1·7 —1·4 +6·9 +8·8 +7·0.

Der Verlauf dieser Reihe ist so unregelmäßig, daß hierin ein jährlicher oder halbjähriger Gang nicht zu erkennen ist.[1] Die hier auftretenden, relativ großen Schwankungen, speziell die Hebungen des Wasserspiegels im Oktober, November und Dezember sind eben nicht kosmischen Ursprunges, sondern verdanken ihre Entstehung meteorologischen Faktoren (Luftdruck, Wind), die in der Adria auf die jeweilige Höhe des Wasserstandes einen sehr großen Einfluß nehmen.

Da eine Eliminierung dieser von meteorologischen Erscheinungen abhängigen Niveauschwankungen auf sehr große Schwierigkeiten stößt — es müßte nämlich für jeden Monat die Wirkung des mittleren Luftdruckgradienten zwischen dem Mittelländischen Meer und der Nordadria und auch jene der mittleren Luftbewegung im Adriagebiete zahlenmäßig festgestellt werden — so dürfte es wohl kaum jemals gelingen, die Existenz langperiodischer Tiden in der Adria nachzuweisen.

Meteorologische Tiden. Außer den durch die fluterzeugenden Kräfte hervorgerufenen periodischen Schwingungen des Wassers gibt es in der Adria noch Niveauschwankungen, die auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen sind. Hierzu gehören zunächst die gewöhnlich auf mehrere Tage ausgedehnten, zuweilen aber rasch vor sich gehenden Hebungen und Senkungen des Meeresspiegels, wie sie bei Luftdruckunterschieden über dem Mittelländischen und Adriatischen Meere und bei länger andauernden stetigen Winden zur Beobachtung kommen. Liegt ein Hochdruckgebiet durch längere

Jahr	Tag	Barometermaximum *mm*		Barometerminimum *mm*		Windrichtung und Stärke		Abweichung des Mittelwassers vom mittleren Niveau in *cm*	
								Pola	Ragusa
1903	6./12.	Südliches Mittelmeer	755	Ligurisches Meer	745	Nordadria ENE_4,	Ragusa ESE_4	+ 63	+ 35
»	7./12.	NE-Europa	769	Italien, Mittlere Adria	749	» W_2,	» SE_6	+ 39	+ 42
1905	14./11.	N-Europa	765	Ungarn, Nordadria	740	» W_{2-6},	» SW_4	+ 34	+ 41
»	16./11.	NW-Europa	765	Oberitalien, Nordadria	745	» $SSE\text{-}SSW_{6-9}$,	» SW_4	+ 47	+ 37
1906	1./11.	E-Europa	765	Ligurisches Meer	745	» ENE_3,	» SE_6	+ 46	+ 22
1908	29./12.	N-Europa	775	Süditalien, Südadria	745	» Bora,	» SE_6	+ 17	+ 36
1903	30./1.	Zentraleuropa	775	—		schwache Brisen und Kalmen		— 27	— 21
1905	28./1.	W-Europa	785	Östliches Mittelmeer	765	Bora		— 34	— 19
»	29./1.	»	785	Südliches »	770	$NW—NE_{1-2}$		— 35	— 22
1907	20./1.	Zentraleuropa	780	Östliches »	760	Nordadria E_{2-4},	Ragusa NNE_4	— 34	— 21
1908	24./1.	»	780	Südliches »	770	» NE_{2-4},	» NE_6	— 26	— 25
»	25./1.	»	775	Östliches »	765	$NE—N_{1-2}$		— 29	— 23

[1] Eine ähnliche Untersuchung bezüglich der Mondtiden längerer Periode lieferte ebenfalls ein negatives Ergebnis.

Zeit über Zentraleuropa und befindet sich im Süden tiefer Druck, eine Wetterlage, die in der Adria NE—NW-liche Winde hervorruft, so tritt eine Depression des Wasserspiegels ein, die im Norden 30—40 *cm* betragen kann. Wenn sich dagegen Barometerminima über dem Ligurischen Meer, über der Nordadria oder über Norditalien einstellen und hoher Druck im Süd lagert, so wehen in der Adria frische bis stürmische SE—SW-Winde und findet dann eine starke Aufstauung des Wassers in der Nordadria statt. Herrscht gleichzeitig Springflut, so kann es zur Überschwemmung der Hafenanlagen kommen, wie zum Beispiel am 25. Februar 1879 und am 25. Dezember 1901. Anfstauungen des Wassers von 60—70 *cm* sind in der Nordadria keine Seltenheit.

In der vorstehenden Tabelle sind einige typische Fälle zusammengestellt, die eine vollständige Übereinstimmung der Wetterlage und der Niveauschwankungen zeigen.

Der höchste Wasserstand im Hafen von Pola seit Beginn der Aufzeichnungen wurde am 25. Februar 1879 mit 120 *cm* über Mittelwasser registriert. An diesem Tage war eine intensive Zyklone von Algier heraufziehend westlich von Pola passiert. In den Morgenstunden hatte eine orkanartige Bora geweht, wobei das Anemometer einen stündlichen Windweg von 125 *km*, das ist die größte bisher in Pola beobachtete Windgeschwindigkeit, registriert hatte. Gegen Mittag setzte der Sturm unvermittelt nach SE um und wurde um 5P wieder ein Windweg von 111 *km* aufgezeichnet. In der südlichen Adria wehte orkanartiger Scirocco. Die tiefste Lesung des Barometers betrug 733·7 *mm*. Nach Erzählungen von Augenzeugen wurde an diesem Tage, es war gerade Faschingdienstag, die ganze Riva von Pola überschwemmt.

Das Ansteigen, beziehungsweise Fallen des Mittelwassers geht teils sukzessive, teils sehr rasch vor sich und sind interdiurne Schwankungen von 20 *cm* keine Seltenheit. In der Regel geht der Anstieg rascher vor sich als der Abfall. Hervorzuheben ist die rasche Niveauschwankung im steigenden Sinne von 31 *cm* vom 17. auf den 18. Jänner 1905, an welchem Tage antizyklonales Wetter durch plötzliche Ausbildung einer sekundären Depression über dem Ligurischen Meere von frischem Scirocco abgelöst wurde.

Vergleicht man die Monatsmittel des Wasserstandes einer längeren Beobachtungsreihe mit dem Mittelwasser, wie dies bereits für die Untersuchung betreffs der Tiden mit langer Periode geschehen ist, so zeigen diese Differenzen relativ große und jährlich wiederkehrende Schwankungen, die nicht kosmischen Ursprungs sind, sondern meteorologischen Faktoren (Luftdruck und Wind) ihre Entstehung verdanken. Sie lassen sich jedoch nicht mit den örtlich beobachteten Durchschnittswerten von Luftdruck und Wind in Einklang bringen und dürften sie vielmehr von den Wettervorgängen über dem ganzen Adriagebiet und dem Jonischen Meer beherrscht sein.

Berechnet man noch Tag für Tag die Abweichung des 24stündigen Mittels der Wasserstände vom Jahresmittel und bildet von diesen Zahlen ohne Rücksicht auf ihr Vorzeichen das Mittel, so erhält man die mittlere Anomalie des betreffenden Monats. Ich habe diese Untersuchung auf die Jahre 1904—1908 ausgedehnt und resultierten folgende Mittelwerte in *cm*:

Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
12·3	11·5	9·4	8·6	6·6	4·3	3·7*	4·6	7·0	9·3	13·1	**14·3**

Die mittlere Luftdruckschwankung in *mm* beträgt:

Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
26·5	25·2	25·5	21·3	16·5	13·8	12·8*	14·4	17·2	22·4	25·2	**28·2**.

In beiden Reihen fällt somit das Maximum auf den Dezember und das Minimum auf den Juli und sind also in diesen Monaten durchschnittlich die größten, beziehungsweise kleinsten Niveauschwankungen zu erwarten. Dabei findet die weitaus überwiegende Anzahl von Elevationen des Mittelwassers in den Monaten Oktober bis Dezember statt, während die Depressionen im Jänner bis März ihre größte Häufigkeit aufweisen und ist diesem Umstande auch die Unregelmäßigkeit im jährlichen Gange der Monatsmittel zuzuschreiben.

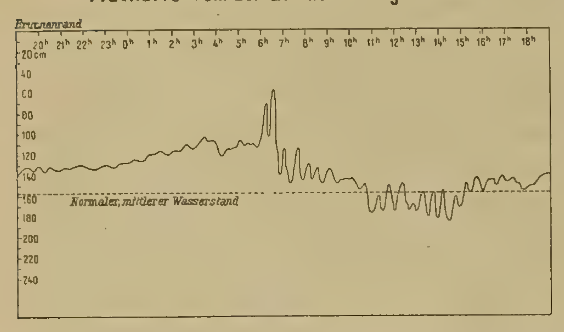
Die im Vorstehenden betrachteten, durch meteorologische Einflüsse hervorgerufenen Schwankungen des Wasserspiegels sind durchaus Hebungen und Senkungen des Mittelwassers; durch böige Winde und rasche Luftdruckschwankungen werden jedoch auch noch stehende Wellen erzeugt, welche die Gezeitenwellen überlagern und daher den regelmäßigen Gezeitenablauf stören. Unter diesen stehenden

Wellen gibt es wieder solche, die dem betreffenden Hafen eigentümlich sind und sich nur auf rasche Niveauschwankungen innerhalb des Hafenbeckens erstrecken und dann die ausgebreiteten stationären Schwingungen, die über einen großen Teil oder über die ganze Adria ausgedehnt sind.

Stehende Wellen der ersten Gattung sind von relativ kurzer Periode, sie werden in jedem Hafen angetroffen und zeigen zum Beispiel die in Pola registrierten Flutkurven bei nur einigermaßen frischen Winden auch ohne nachweisbare Böen ein fast fortwährendes Oszillieren des Wasserspiegels, wobei eine dominierende Grundschwingung von 30^m sehr gut ausgeprägt ist.[1] Bei starkem Winde ist dieser Hauptschwingung häufig eine Oberschwingung von 6^m Periode und kleinerer Amplitude von 2—5 *cm* überlagert. Abgesehen von Böenwetter werden die lokalen Seichen größerer Amplitude in Pola am häufigsten dann beobachtet, wenn frischer Scirocco über SW gegen W dreht.

Fig. 4.

Flutkurve vom 25. auf den 26. August 1890.



Eine besonders starke Seiche zeigt die Flutkurve vom 25. August 1890 während einer schweren Bö aus WSW. Um 5^{55} p. fiel hierbei das Wasser nach einem vorangegangenen Anstieg von 50 *cm* nahezu plötzlich um 87 *cm* und dauerte ein regelmäßiges Auf- und Abschwingen mit einer Periode von 30^m bis 3^p des folgenden Tages. (Fig. 4.)

Auch ablandige Böen können starke Seichen erzeugen, wie zum Beispiel die Bö aus N am 26. August 1905 (25·3 *m* pro Sekunde), wobei das Wasser um 117 *cm* über das Mittelwasser stieg und einen Teil der Riva überschwemmte.

Von größerem Interesse sind die langperiodischen, über einen Teil oder über die ganze Adria ausgedehnten Seichen, auf deren Existenz ich zum ersten Male in meiner Gezeitenstudie über Pola aufmerksam gemacht habe.[2] Vergleicht man die auf Grund der Flutkonstanten vorausberechneten mit den tatsächlich beobachteten Flutkurven, so zeigt sich, daß bei ruhigem Wetter eine überraschend gute Übereinstimmung zwischen beiden Kurven besteht, wie dies zum Beispiel am 6. Jänner 1909 aus Fig. 1 zu ersehen ist. An ruhigen Tagen steht also im Hafen von Pola die Gezeitenbewegung im vollen Einklange mit der Theorie. Wehen dagegen in der Adria frische Winde, so sind Abweichungen der beiden Kurven fast immer zu beobachten und zwar zumeist betreffs der Amplitude. Bei stürmischen SE—SW-Winden erreichen diese Störungen zuweilen einen solchen Grad, daß der normale Gezeitenablauf dadurch ganz oder teilweise verdeckt wird. Der Vergleich der vorberechneten und registrierten Flutkurve hat nun zu dem Ergebnis geführt, daß bei frischen zyklonalen SE—SW-Winden stehende Wellen zur Ausbildung kommen, die sich über das ganze Adriagebiet erstrecken und ungefähr eine Periode von 23 Stunden besitzen. Ein typisches Beispiel hierfür sind die Flutregistrierungen vom 22., 23. und 24. März 1906. (Fig. 5.)

Fig. 5.

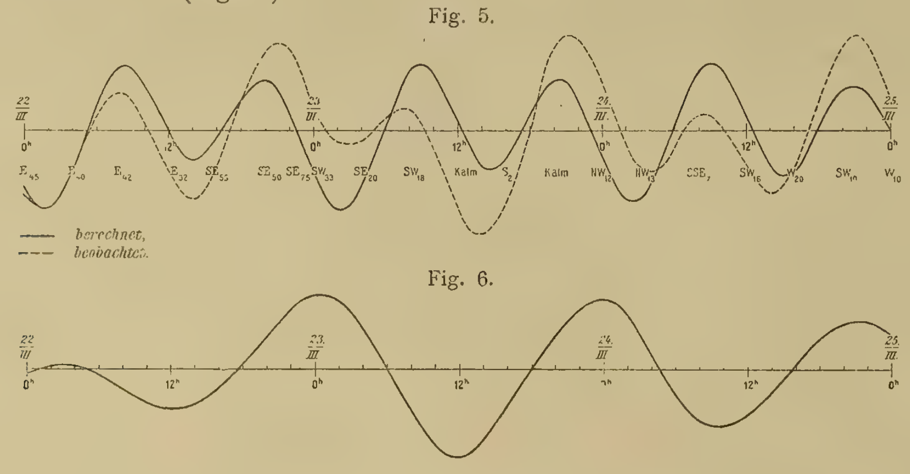


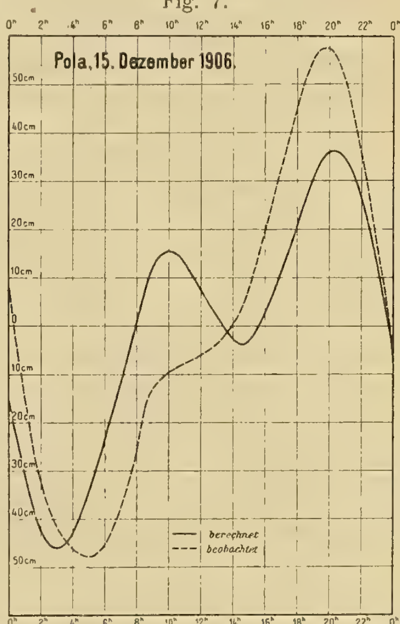
Fig. 6.

[1] Es handelt sich dabei jedenfalls um Schwingungen der Hafenbucht mit einer Knotenlinie an der Mündung. Bei einer Länge der Bucht $l = 5{\cdot}3\ km$ und einer mittleren Tiefe $h = 16{\cdot}3\ m$ ergibt sich als theoretische Periode $\frac{4\,l}{\sqrt{gh}} = 28^m$.

[2] Das Gezeitenphänomen im Hafen von Pola. Studie von Fregattenkapitän W. v. Kesslitz, p. 60—62.

Die Wetterkarte des 23. März 1906 zeigt eine tiefe Depression mit dem Zentrum 742·6 *mm* über Livorno, um die sich die Isobaren nahezu kreisförmig anordnen. In der ganzen Adria wehen frische ESE—SE-liche Winde in der Stärke 4—8. In Pola hatte der SE in den Morgenstunden des 23. gefrischt und registrierte der Anemograph Beckley von 10—11ᵃ einen Windweg von 75 *km* pro Stunde, der Winddruckmesser Dines um 11ᵃ eine momentane Windgeschwindigkeit von 23·9 *m* pro Sekunde. Der Wind drehte dann nach SW und wehten in der folgenden Nacht schwache bis mäßig frische SE—SW-Winde. Die Kurve, welche die Differenzen der vorberechneten und beobachteten Wasserstände darstellt (Fig. 6), läßt zuerst während der Nacht vom 22. auf den 23. März eine Depression von 14 *cm* erkennen, der im Laufe des Vormittags des 23. ein rascher Anstieg folgt und bildet sich dann eine regelmäßige Welle von ungefähr 23^h Periode aus, die noch in den Vormittagstunden des 25. gut entwickelt ist.

Fig. 7.



Daß nicht nur der Winddruck allein, sondern auch eine rasche Änderung des Luftdruckgradienten stehende Wellen in der Adria auszulösen vermag, zeigt zum Beispiel die Flutkurve vom 15. Dezember 1906. (Fig. 7.) Am 14. Dezember lag ein Barometerminimum von 748 *mm* über der Nordadria und Norditalien und hatte das südliche Mittelmeer um 10 *mm* höheren Luftdruck, der Gradient war somit SE—NW. Am folgenden Tag hatte sich die Depression vertieft (745 *mm*) und rasch nach Süd verschoben, während vom NW her hoher Druck nachrückte.

Ohne daß an diesem Tage stürmische Winde vorwalteten, gab die Umkehr des Gradienten in der Längsrichtung der Adria Anlaß zur Ausbildung einer stehenden Welle, die bei einer Periode von gleichfalls 23^h eine Amplitude von 30 *cm* erreichte und an dem betreffenden Tag die Fluthöhe auf 195 *cm* vergrößerte.

Bei Borawetter sind zwar auch Störungen im Verlauf der Gezeitenkurven zu beobachten, sie sind aber nicht so gut ausgeprägt wie bei böigem Scirocco und klingen sie zumeist rasch ab. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um stehende Wellen quer über die Adria.

2. Triest.

$\varphi = 45° \; 38'9 \; N; \lambda = 13° \; 45'5$ E. v. Gr.

Flutmesser: Selbstregistrierender Gezeitenpegel System Seibt-Fuess.

Aufstellungsort: Flutmesserhäuschen vom k. k. Maritimen Observatorium am Kopfe des Molo Sartorio.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 1. Jänner 1911 bis 4. Jänner 1912.

Mareographische Beobachtungen im Hafen von Triest liegen seit dem Jahre 1859 vor und beziehen sie sich von Anbeginn an auf Wasserstandsmessungen am Molo Sartorio (Sanitätshäuschen, Casa rossa). Der alte Flutmesser, dessen Aufstellung durch die k. k. Marinesternwarte in Triest[1] besorgt worden war, stand bis Ende 1910 in Verwendung. Aus den Aufzeichnungen dieses Apparates von 1869 hatte A. Prey die Hafenzeit von Triest mit $9^h \; 29^m$ und auch die (mittlere) halbmonatliche Ungleichheit abgeleitet.[2] Die erste wissenschaftliche Bearbeitung von Gezeitenaufzeichnungen in Triest bewirkte Professor Klekler nach der Methode von Professor Stahlberger und sind die von ihm abgeleiteten Flutkonstanten, wie in der Einleitung erwähnt, lange Zeit am Maritimen Observatorium in Triest nach einer vom Direktor Osnaghi erdachten graphischen Methode, die dann weiterhin zur Konstruktion des Interferenzapparates vom Ingenieur A. Faidiga, Adjunkt am genannten Observatorium, geführt hat, für die Vorausberechnung der Hochwasserzeiten in Verwendung gestanden. Klekler hatte als Hafenzeit von Triest $9^h \; 50 \cdot 4^m$ gefunden.

Das wenig befriedigende Funktionieren des alten Flutmessers[3] bewog den gegenwärtigen Direktor des Maritimen Observatoriums Hofrat E. Mazelle zur Aufstellung eines neuen modernen Mareographen zu schreiten. Nachdem hierfür seitens des k. k. Handelsministeriums die nötigen Geldmittel bewilligt

---

[1] Mitteilungen der k. k. Geograph. Gesellschaft in Wien, IV. Jahrgang, p. 68. Eine Beschreibung des nach Angaben von Direktor Schaub konstruierten Flutmessers befindet sich im ersten Berichte der »Ständigen Kommission für die Adria«, p. 66—68.

[2] Dritter Bericht der »Ständigen Kommission für die Adria«, p. 121—124.

[3] Die Gezeiten im Hafen von Triest von Dr. F. Hopfner, p. 10—11.

worden waren, wurde Ende 1910 ein selbstregistrierender Gezeitenpegel System Seibt-Fuess in gleicher Konstruktion wie jener vom k. u. k. Hydrographischen Amte über dem Brunnenschachte des alten Flutmessers am Molo Sartorio installiert und beginnt die Registrierung am neuen Apparat mit 1. Dezember 1910.

Die harmonische Analyse des Jahrganges 1911 der Aufzeichnungen hat Herr Dr. F. Hopfner, Adjunkt am Gradmessungsbureau in Wien bewirkt, wobei das gleiche Verfahren wie bei der Analyse der Station Pola eingeschlagen worden ist. Es ergaben sich die nachstehenden Gleichungen:[1]

Tide M

$$h_M = 0\cdot 86 \sin(243^\circ 0 + x) + 25\cdot 28 \sin(147^\circ 0 + 2x) + 0\cdot 87 \sin(205^\circ 4 + 3x) + 0\cdot 24 \sin(59^\circ 0 + 4x).$$

Tide N

$$h_N = 0\cdot 54 \sin(210^\circ 1 + x) + 4\cdot 14 \sin(267^\circ 3 + 2x) + 0\cdot 10 \sin(89^\circ 4 + 3x) + 0\cdot 13 \sin(176^\circ 3 + 4x).$$

Tide O

$$h_O = 5\cdot 77 \sin(183^\circ 2 + x) + 0\cdot 19 \sin(50^\circ 8 + 2x) + 0\cdot 10 \sin(174^\circ 7 + 3x) + 0\cdot 10 \sin(154^\circ 3 + 4x).$$

Tide S

$$h_S = 0\cdot 80 \sin(51^\circ 0 + x) + 15\cdot 83 \sin(166^\circ 6 + 2x) + 0\cdot 14 \sin(143^\circ 1 + 3x) + 0\cdot 20 \sin(102^\circ 7 + 4x).$$

Tide P

$$h_P = 4\cdot 75 \sin(186^\circ 8 + x) + 0\cdot 85 \sin(5^\circ 0 + 2x) + 0\cdot 15 \sin(160^\circ 4 + 3x) + 0\cdot 07 \sin(144^\circ 2 + 4x).$$

Tide K

$$h_K = 19\cdot 04 \sin(206^\circ 3 + x) + 6\cdot 47 \sin(1^\circ 6 + 2x) + 0\cdot 10 \sin(149^\circ 0 + 3x) + 0\cdot 12 \sin(153^\circ 4 + 4x).$$

Aus den vorstehenden Gleichungen ergibt sich ohne weiters, daß auch für Triest und — da hier die größten Fluten auftreten — auch im ganzen Adriagebiete nur die Tiden M_2, N, O, S_2, P, K_1 und K_2 Bedeutung erlangen. Bei einer Vorausberechnung der Gezeiten genügen diese 7 Tiden vollständig und wäre in der Praxis ein Eingehen auf die Tiden mit den kleinen Amplituden auch schon deshalb zwecklos, weil Wind und Wetter und die in allen Häfen und Buchten des heimischen Meeres auftretenden, oft ganz bedeutenden lokalen Seichen eine genauere Berechnung des Kurvenverlaufes illusorisch machen würden.

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude H in *cm*	15·83	26·30	4·30	5·22	17·33	4·75	5·02
Kappazahl $\varkappa$ (M. O. Z.)	280°9	273°9	282°9	276°0	67°8	72°0	55°6

Hafenzeit = 9h 25m M. O. Z.

Das Verhältnis der Hauptmond- zur Hauptsonnentide ($M_2 : S_2$) 1·66 (Klekler fand 1·70) ist also fast unverändert geblieben und haben auch die Amplituden der ganztägigen Wellen eine nur unbedeutende Verstärkung im Vergleich zu Pola erfahren. Dagegen sind in Triest die Halbtagstiden viel kräftiger entwickelt, ihre Amplituden betragen fast das Doppelte jener von Pola. Es müssen daher im Gezeitenverlauf von Triest die halbtägigen Schwingungen viel stärker ausgeprägt sein und in der Nähe der Quadraturen Eintagsfluten weniger gut zur Ausbildung kommen als in Pola. Die Kappazahlen der Halbtagsgezeiten haben im Mittel gegen Pola um ungefähr 10° zugenommen, jene der ganztägigen Wellen sind fast unverändert geblieben.

---

[1] Die Gezeiten im Hafen von Triest von Dr. F. Hopfner, p. 16. (M. E. Z.).

Diese Unterschiede in den Amplituden und Verspätungen der Elementarwellen haben auch Verschiebungen im jahreszeitlichen Wechsel des Gezeitenablaufes zur Folge. So verfrühen sich in Triest bei den Syzygien die Eintrittstermine der größten Hochwasser, indem letztere in der zweiten Hälfte des April, beziehungsweise Oktober, also um einen Monat früher auftreten als in Pola und haben die beiden Syzygialhochwasser schon anfangs Februar beziehungsweise anfangs August die gleichen Amplituden, daher das erste Hochwasser von anfangs Februar bis anfangs August und das zweite von Mitte August bis Ende Jänner das größere ist.

Bei den Niedrigwassern beobachten wir dieselben Verhältnisse wie in Pola, die tiefsten Niedrigwasser kommen in der ersten Hälfte des Jänner (erstes Niedrigwasser) und in der ersten Hälfte des Juli (zweites Niedrigwasser) zur Ausbildung; Ende März und Ende September sind beide Niedrigwasser gleich, im Sommer ist das zweite, im Winter das erste Niedrigwasser stärker entwickelt.

Wie in Pola haben auch in Triest bei den Syzygien die maximalen Hochwasser eine kleinere Amplitude als die Niedrigwasser. Während bei ersteren in Erdnähe des Mondes die Hebung des Wasserspiegels 59 *cm* erreicht, kann bei letzteren eine Depression des Wasserspiegels von 68 *cm* eintreten. Die größten Fluthöhen kommen in Triest schon in der ersten Häfte des Mai und November, also etwa zwei Monate früher als in Pola zur Ausbildung, beim Mond in Erdnähe kann dann der Tidenhub 121 *cm* ausmachen. (Alle diese Zahlen ergeben sich rechnerisch durch Synthese der sieben Haupttiden, in Wirklichkeit vergrößern sich die vorstehenden Amplituden noch um ungefähr 10 *cm.*)

Bei den Quadraturen sind wie in Pola im Sommerhalbjahr das erste, im Winterhalbjahr das zweite nach 0^h auftretende Hochwasser stärker ausgebildet; im März, April, August und September verschwinden die sekundären Extreme fast gänzlich und haben wir dann beim ersten und letzten Mondviertel Eintagsfluten; nahe den Solstitien sind dagegen die Doppelschwingungen ziemlich gut ausgebildet. Zu dieser Zeit erreichen die Hochwasseramplituden der Quadraturkurven den theoretischen Maximalwert von 32 *cm* (ohne *N*), und zwar nahe dem Sommersolstitium gegen $2^1/_2{}^h$, nahe dem Wintersolstitium gegen $14^1/_2{}^h$; zur Zeit der Äquinoktien verflacht sich der positive Teil der Kurve und geht das eine Hochwasser in das andere über. Die tiefsten Niedrigwasser der Nippfluten, theoretisch 27 *cm*, werden Mitte Mai gegen 22^h (zweites Niedrigwasser) und Mitte November gegen 9^h (erstes Niedrigwasser) also ungefähr einen Monat später als in Pola beobachtet.

Aus dem Beobachtungsjahr 1911 resultiert für Triest als durchschnittliche Schwankung des Wasserspiegels 88 *cm*; bei den Syzygien war die mittlere Fluthöhe 122 bei den Quadraturen 52 *cm*.

In den Tabellen IV und V, p. 87 und 93, sind die halbmonatlichen + täglichen Ungleichheiten und die Höhen der Hochwasser für Triest zusammengestellt.

Ihre Berechnung geschah nach derselben Methode wie für Pola.

Die Aufzeichnungen von 1911 ergaben für Triest als mittleren Wasserstand 112·1 *cm* bezogen auf den neuen Nullpunkt. Mit der Relation:

Lesung, neuer Nullpunkt = 216·0 — Lesung, alter Nullpunkt (*cm*)[1]

resultiert für das Jahr 1911 als mittlerer Wasserstand 103·9 *cm* bezogen auf den alten Nullpunkt. Da nun in Pola im Jahre 1911 das Mittelwasser um 2·6 *cm* unter dem aus der vollkommen homogenen Beobachtungsreihe 1905—1914 abgeleiteten Mittelwert gelegen war und weil im Adriagebiete die Schwankungen des Mittelwassers — wenn größere Zeiträume wie Monate oder Jahre in Betracht kommen — sich überall im gleichen Sinne und in gleicher Größe vollziehen, wie dies zuerst vom Generalmajor v. Sterneck nachgewiesen worden ist, so ergibt sich nach Anbringung der Korrektur 2·6 *cm* für Triest als Mittelwasser, 114·7 *cm* bezogen auf den neuen Nullpunkt.

---

[1] Der neue Nullpunkt liegt 440 *cm* unter der Höhenmarke im Mareographenzimmer der Casa rossa am Molo Sartorio und befindet sich diese Höhenmarke 224 *cm* über dem rechten Uferrand des Molo Sartorio (alter Nullpunkt).

Rechnet man mit dem alten Nullpunkt, so resultiert mit Benutzung der vorstehenden Relation als Mittelwasser 101·3 *cm*, welche Angabe mit dem von Direktor Mazelle mitgeteilten, aus der Beobachtungsreihe 1905—1914 abgeleiteten Mittelwasserstand, nämlich 101·7 *cm*, sehr gut übereinstimmt.

Nach Dr. Hopfner war bisher in Triest die größte Flut 166 über und die tiefste Ebbe 112 *cm* unter Mittelwasser.

3. Fiume.

$\varphi = 45°\ 19'8$ N; $\lambda = 14°\ 25'7$ E. v. Gr.

Flutmesser: Selbstregistrierender Gezeitenpegel vom Militärgeographischen Institute.

Aufstellungsort: Bootshafen der k. u. k. Marineakademie.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 1. Juni 1907 bis 31. Mai 1908.

Die ersten Gezeitenmessungen auf der Reede von Fiume verdanken wir Dr. J. Lorenz. Obwohl sich seine Beobachtungen nur auf ganz primitive und unvollständige Pegelablesungen in den Jahren 1857—1860 beschränkten und zu dieser Zeit noch keine harmonische Analyse existierte, hatte Lorenz dennoch das Wesentliche im Charakter des Gezeitenablaufes auf der Reede von Fiume erkannt. In seinem trefflichen Buche über den Quarnero[1] hebt Lorenz hervor, daß auf der Reede von Fiume die Flut nur einmal im Tage auftrete, daß die Eintrittszeit der Hochwasser in keinen angebbaren Beziehungen weder zu den Kulminationsstunden des Mondes noch zum jährlichen Gange der Sonne stünden, daß vielmehr die Eintrittszeiten der Hochwasser vom Wintersolstitium durch das Frühjahrsäquinoktium zum Sommersolstitium stetig rückwärts schreiten, wobei oft längere Zeit hindurch die Flutkurven dieselbe Hochwasserzeit aufweisen, aber durchschnittlich von Monat zu Monat eine Verfrühung von zwei Stunden beobachtet wird.

Die harmonische Analyse hat die Wahrnehmungen von Lorenz insofern bestätigt, als ein großer Teil der Flutkurven nur ein Maximum aufweist und auch in der Eintrittszeit der Hochwasser mit Ausnahme der Springgezeiten durchschnittlich eine Verfrühung von zwei Stunden pro Monat stattfindet.

Die nächste Beobachtungsreihe — 29. November 1868 bis 27. November 1871 — umfaßt die Flutregistrierungen, die von der ständigen Adriakommission zur Ausführung kamen und vom Professor Stahlberger nach der von ihm erdachten Methode wissenschaftlich bearbeitet worden sind. Es wurde bereits erwähnt, daß diese Methode, die später von Klekler auch auf die zu gleicher Zeit stattgehabten Registrierungen in Triest, Pola, Zara und Lesina ausgedehnt worden ist, außer für die Hochwasserbestimmungen in Triest keine praktische Anwendung gefunden hat[2].

A. Prey hatte aus den Aufzeichnungen von 1869 die Hafenzeit von Fiume mit $8^h\ 41^m$ und dann auch eine Tabelle der halbmonatlichen Ungleichheiten berechnet. Bezeichnet man nach Klekler die Verzögerung der halbtägigen Mondtide einfach als Hafenzeit, so würde aus der Stahlberger'schen Formel diese Flutkonstante für Fiume mit $8^h\ 47^m$ resultieren.

Die vom Verfasser der harmonischen Analyse unterzogene Beobachtungsreihe vom 1. Juni 1907 bis 31. Mai 1908 gehört zu den Flutregistrierungen, die auf Anregung des verstorbenen Generalmajors Dr. R. v. Sterneck vom Militärgeographischen Institute behufs Kontrolle des Präzisionsnivellements angestellt worden sind. Eine Beschreibung des Flutmessers befindet sich im XXIV. Bande der Mitteilungen vom obgenannten Institute; die Ausmessungen der Kurvenblätter von Fiume und von sämtlichen übrigen Stationen, wo v. Sterneck Registrierungen vornehmen ließ, geschahen zur Gänze am Militärgeographischen Institute und sind die stündlichen Angaben im XXIXB. ande obiger Mitteilungen veröffentlicht worden.

---

[1] Physikalische Verhältnisse und Verteilung der Organismen im Quarnerischen Golfe von Dr. J. R. Lorenz. Wien 1863.

[2] Die Ebbe und Flut in der Reede von Fiume als Interferenzerscheinung von vier einfachen Oscillationen des Meeres dargestellt und nach einer einfachen Methode berechnet von E. Stahlberger. Dritter Bericht der »Ständigen Kommission für die Adria«.

Die Analyse ergab die nachstehenden Gleichungen:

Tide M

$$h_M = 0 \cdot 85 \sin (9^\circ 3 + x) + 10 \cdot 37 \sin (73^\circ 4 + 2x)$$ [1]

Tide N

$$h_N = 0 \cdot 13 \sin (136^\circ 2 + x) + 1 \cdot 92 \sin (45^\circ 9 + 2x)$$

Tide O

$$h_O = 3 \cdot 83 \sin (301^\circ 1 + x) + 0 \cdot 10 \sin (47^\circ 4 + 2x)$$

Tide S

$$h_S = 1 \cdot 34 \sin (48^\circ 9 + x) + 5 \cdot 70 \sin (201^\circ 1 + 2x)$$

Tide P

$$h_P = 4 \cdot 29 \sin (47^\circ 4 + x) + 0 \cdot 18 \sin (280^\circ 5 + 2x)$$

Tide K

$$h_K = 13 \cdot 69 \sin (354^\circ 9 + x) + 161 \sin (327^\circ 6 + 2x)$$

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude H in *cm*	5·67	10·38	1·92	1·73	13·99	4·29	3·96
Kappazahl $\varkappa$ (M. O. Z.)	248°9	249°0	240°9	242°5	65°1	63°8	55°5

Hafenzeit = 8^h 28^m M. O. Z.

Das Verhältnis der Hauptmond- zur Hauptsonnentide ist 1·83 (Klekler fand 1·86). Im Vergleich zu Pola sind bei den ganztägigen Tiden weder in den Kappazahlen noch in den Amplituden merkliche Unterschiede wahrzunehmen; bei den halbtägigen Tiden haben sich dagegen die Amplituden ungefähr um ein Drittel verringert und sind die Kappazahlen im Mittel um 19° kleiner geworden. Da die Amplitude der K_1-Tide jene der Hauptmondtide noch um 3·6 *cm* überragt, wird die tägliche Ungleichheit in Höhe so groß, daß zeitweise selbst bei den Syzygien eines der Hochwasser 10 *cm* nicht erreicht; gegen die Quadraturen zu verflacht sich dieses Hochwasser noch mehr und werden bei den Mondeskulminationen $4^1/_2 - 8^h$ und $16^1/_2 - 20^h$ nur mehr Eintagsfluten beobachtet. Relativ stark entwickelt ist die ganztägige Sonnentide S_1, ihre Amplitude übersteigt 1 *cm*. Das Überwiegen der K_1-Tide hat aber noch weiter zur Folge, daß nur bei den Fluten nahe den Syzygien sich die Eintrittszeiten der Hochwasser mit starken, bis zu drei Stunden variierenden halbmonatlichen Ungleichheiten noch nach der Mondeskulmination richten, während sonst die Extreme der Flutkurven annähernd der Kulmination der K_1-Tide folgen, somit von Monat zu Monat sich ihre Eintrittszeiten um durchschnittlich 2^h verfrühen müssen. Zwischen den Syzygien und Quadraturen wird die sukzessive Verspätung der $M_2 + S_2$-Tiden zum Teil durch das Voreilen der K-Tiden aufgehoben und erklärt sich

[1] Die Glieder mit $3x$ und $4x$ wurden bei dieser Station und in der Folge nicht mehr berechnet, da sie sich in Pola und Triest für den Verlauf der Flutkurven als bedeutungslos gezeigt haben.

dadurch die schon von Lorenz gemachte Wahrnehmung, daß oft durch mehrere Tage die Hochwasser auf dieselbe Stunde fallen.[1]

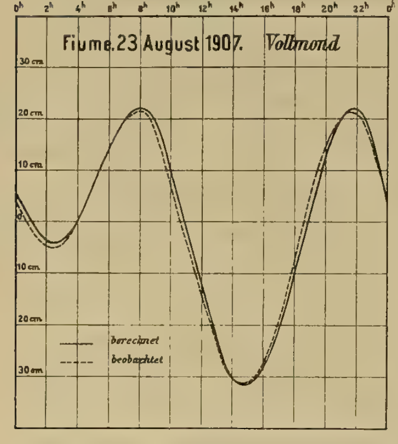
Die halbmonatlichen + täglichen Ungleichheiten sowie die Hochwasserhöhen wurden nach der gleichen Methode wie für Pola berechnet. (Tabelle IV und V, p. 89 und 95.)

Über den jahreszeitlichen Wechsel im Gezeitenablauf ist folgendes zu bemerken:

Bei oder nahe den Syzygien ist von anfangs März bis Ende August das erste, in der übrigen Zeit das zweite nach 0^h auftretende Hochwasser das größere. Ende Februar und Ende August sind die beiden Hochwasser gleich. Die größten Hochwasser, in Erdnähe des Mondes 33 *cm*, werden Ende Mai und Ende November, die tiefsten Niedrigwasser, 38·5 *cm*, anfangs Juli und anfangs Jänner beobachtet. Zu diesen Zeiten erreichen bei den Springfluten die täglichen Ungleichheiten in Höhe die größten Werte. Anfangs April und anfangs Oktober sind beide Niedrigwasser gleich und ist von anfangs Oktober bis Ende März das erste, von anfangs April bis Ende September das zweite Niedrigwasser stärker ausgebildet. Die größten Fluthöhen (65 *cm*) zeigen die Syzygialkurven vom Juni und Dezember.

Gut entwickelte Doppelschwingungen findet man in den Syzygialkurven in den Monaten Februar bis April und August bis Oktober und muß daher der Ausspruch von J. Lorenz, daß auf der Reede von Fiume nur Eintagsfluten vorkommen, für die Springgezeiten in diesen Monaten als nicht zutreffend bezeichnet werden.

Fig. 8.



In Fig. 8 ist als Beispiel gut ausgebildeter Halbtagsgezeiten die registrierte Flutkurve vom 23. August 1907 dargestellt. Die ebenfalls abgebildete, mit den Konstanten der harmonischen Analyse vorberechnete Kurve zeigt mit der tatsächlich beobachteten wieder eine sehr befriedigende Übereinstimmung.

Nahe dem ersten und letzten Viertel verschwinden in der Zeit von anfangs April bis anfangs Oktober das zweite, von Mitte Oktober bis Mitte April das erste Hochwasser gänzlich. In der Übergangszeit findet eine Verflachung des positiven Teils der Kurve statt. Es sind dann die Niedrigwasser am stärksten entwickelt und zwar Mitte April das zweite gegen 22^h und Mitte Oktober das erste Niedrigwasser gegen 9^h, die Depression beträgt 19·5 *cm*. Die größten Quadraturhochwasser, ebenfalls 19·5 *cm*, kommen Mitte Juli zwischen 2^h und 3^h und Mitte Jänner gegen 15^h zur Ausbildung. Zu dieser Zeit ist der negative Teil der Kurve verflacht und sinkt das Wasser nur 12 *cm* unter das mittlere Niveau. Die Amplituden der Hoch- und Niedrigwasser bei den Quadraturen sind gleich, weil die K_1- und K_2-Tiden zueinander derartig situiert sind, daß sich eine symmetrische Ausbildung der Resultierenden in bezug auf die *O*-Linie ergibt. Die Verfrühung in den Eintrittszeiten der Hoch- und Niedrigwasser beträgt — abgesehen vom Wechsel der ersten und zweiten Extreme, zu welchen Zeiten Sprünge von 6 bis 7 Stunden stattfinden — von Monat zu Monat durchschnittlich eine Stunde.

Aus der Beobachtungsreihe Juni 1907 bis Mai 1908 ergibt sich als mittlere Niveauschwankung 47 *cm*, als Springfluthöhe 63 und als Nippfluthöhe 32 *cm*. In den Monatsmitteln der Fluthöhen ist, obzwar nur ein Jahrgang Beobachtungen zur Verfügung steht, der jährliche Gang sehr gut ausgeprägt, wie dies die unten stehende Zusammenstellung zeigt:

[1] Diese Erscheinung wird in allen adriatischen Häfen beobachtet, wo die halbtägigen Gezeiten gegen die ganztägigen zurücktreten.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
51·7	47·3	41·5*	45·2	49·2	50·0	**51·8**	46·9	43·5*	44·6	45·4	48·4 *cm*

Die größten mittleren Fluthöhen entfallen somit auf den Jänner und Juli, die kleinsten auf den März und September.

4. Zengg.

$\varphi = 44° \; 59'6$ N; $\lambda = 14° \; 54'0$ E. v. G.

Flutmesser: Selbstregistrierender Gezeitenpegel vom Militärgeographischen Institute.

Aufstellungsort: Westseite vom vorspringenden Hafenquai, dessen Verlängerung ein Holzmolo bildet. Westlich hiervon der Molo S. Ambros.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 1. Juni bis 1. Dezember 1907.

Im XXIX. Bande der Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes sind die stündlichen Angaben eines Flutmessers veröffentlicht worden, der für den gleichen Zweck wie in Fiume vom 1. Juni 1907 bis 29. Februar 1908 im Hafen von Zengg aufgestellt war. Hiervon wurden die fast lückenlosen Aufzeichnungen der ersten sechs Monate für die harmonische Analyse verwendet, letztere jedoch nur auf die *M*-, *S*- und *K*-Tiden ausgedehnt. Es ergaben sich die Gleichungen:

Tide *M*

$$h_M = 0·57 \sin(126°3 + x) + 9·95 \sin(79°8 + 2x)$$

Tide *S*

$$h_S = 7·77 \sin(64°7 + x) + 5·15 \sin(211°7 + 2x)^{1}$$

Tide *K*

$$h_K = 13·17 \sin(354°7 + x) + 1·83 \sin(341°5 + 2x)$$

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude *H* in *cm*	5·15	9·93	(1·7)	1·99	13·60	(4·2)	(4·4)
Kappazahl $\varkappa$ (M.O.Z.)	238°3	242°6	(243°)	229°1	65°4	(60°)	(57°)

Hafenzeit: 8^h 13^m M. O. Z.

Die in vorstehender Tabelle unter Klammern gesetzten Tidenkonstanten sind Näherungswerte. Sie wurden mittels der Relationen berechnet, die sich für die Kappazahlen und Amplituden der Tiden M_2 und N, beziehungsweise K_1, P und O untereinander auf den Hauptstationen, das sind Triest, Pola, Fiume, Punte Bianche, Comisa und Ragusa ergeben haben, wo die harmonische Analyse auf sämtliche sieben Haupttiden ausgedehnt worden ist. Es zeigte sich, daß an der heimischen Küste diese Relationen von Station zu Station nur geringen Änderungen unterworfen sind. Dies gilt besonders für die Verhältniszahl der Tidenamplituden. So resultiert im Mittel:

[1] Die ganztägige Welle der *S*-Tide ist hier nicht mit S_1 identisch, da nur 6 Monate für die harmonische Analyse benutzt wurden, somit in der ganztägigen *S*-Welle die Tiden *P* und *K* nicht eliminiert sind.

für die Kappazahlen . . . . für die Amplituden:
$\varkappa_N = \varkappa_{M_2}$ . . . . $H_N = 0\cdot17\,H_{M_2}$
$\varkappa_O = \varkappa_{K_1} - 8^\circ8$ . . . . $H_O = 0\cdot33\,H_{K_1}$
$\varkappa_P = \varkappa_{K_1} - 5^\circ4$ . . . . $H_P = 0\cdot31\,H_{K_1}$

Auch bei den folgenden Stationen sind die unter Klammern gesetzten Werte von H und $\varkappa$ mittels obiger Relationen berechnet worden.

Im Vergleich zu Fiume sind in den Amplituden der Haupttiden von Zengg keine merklichen Unterschiede vorhanden. Die Kappazahl von K_1 ist unverändert geblieben, jene der Halbtagstiden M_2 und S_2 haben sich nur um wenige Grade verringert. Die mittlere Fluthöhe beträgt 44 *cm*, bei Springflut ist der mittlere Tidenhub 59 *cm*, bei Nippflut 30 *cm*, also auch hierin nur wenig Unterschied gegen Fiume.

Hafen Cigale.

(I. Lussin.)

$\varphi = 44^\circ\ 31'8$ N.; $\lambda = 14^\circ\ 27'0$ E. v. Gr.

Flutmesser: Transportabler Flutautograph System Fuess vom k. u. k. Hydrographischen Amte.

Aufstellungsort: Innenseite des neuen Molo im Hafen von Cigale.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 11. Oktober 1914 bis 18. April 1915.

Die Flutmessungen im Hafen von Cigale geschahen zufolge eines Beschlusses der 3. Konferenz österreichischer und italienischer Ozeanographen und Biologen zu Monaco im Mai 1913. Es kam hierzu ein transportabler Flutautograph System Fuess vom Hydrographischen Amte in Verwendung, dessen Aufstellung der Verfasser gelegentlich der Herbstterminfahrt von S. M. Schiff »Najade« am 5. Dezember 1913 auf der Ostseite des kleinen Molo vor dem Hafenamte bewirkte. Leider hatte sich dieser Aufstellungspunkt nicht für zweckmäßig gezeigt; bei starkem Seegange fanden mehrmals Störungen im Betrieb des Apparates statt und so wurde im Oktober 1914 der Flutmesser auf die Innenseite des neuen Hafendammes übertragen. Die Registrierung begann dort am 11. Oktober und mußte mit Rücksicht auf den Kriegszustand am 18. April 1915 abgebrochen werden. Es stand somit für die harmonische Analyse ein völlig hinreichender Zeitraum von 6 Monaten zur Verfügung.

Da eine Beschreibung des transportablen selbstregistrierenden Flutmessers System Fuess, der nicht nur im Hafen von Cigale, sondern auch in Zara, Sebenico, Comisa, Pelagosa und Meljine in Verwendung gestanden war[1] und sich bei seiner leicht durchzuführenden Installierung und einfachen Bedienung recht verwendbar gezeigt hatte, nicht vorliegt, soll die Einrichtung dieses Apparates im Nachstehenden skizziert werden.

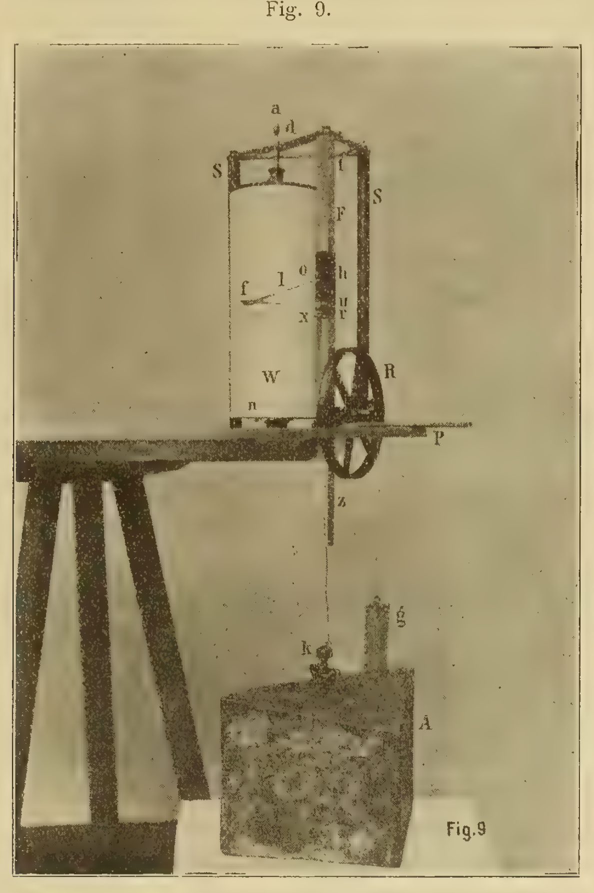
Zum Flutmesser gehört außer dem in Fig. 9 abgebildeten Registrierapparat samt Schwimmer und Gegengewicht noch ein 5 *m* langer Holzschacht, der den Einschluß des Schwimmers bildet und dessen obere Deckplatte aus Holz als Unterlage für den Registrierapparat dient. Letzterer besteht aus dem in der Fig. 9 ersichtlichen Messinggestell, nämlich aus dem quadratischen Rahmen P von 225 *mm* Seitenlänge mit drei Querleisten, wovon zwei parallellaufende die Lager des Schwimmerrades R und die dritte diagonal hierzuliegende das fixe Zahnrad n vom Uhrwerk und in dessen Mitte das Stützlager für die Walzenachse tragen. Auf den Verbindungsleisten sind ferner zwei zylindrische 340 *mm* lange Säulen SS und dann die prismatisch geformte Führungsstange F festgeschraubt, auf der die Hülse h verschiebbar ist. Letztere trägt auf der vorderen Seite (in der Figur) den Schreibhebel l, rückwärts ist oben die Zahnstange z befestigt. Auf der Innenseite der Führungsstange ist unten ein Röllchen ein-

[1] Das Hydrographische Amt verfügte über zwei solche Flutautographen.

gelassen, das die Zahnstange gegen das auf der Achse des Schwimmerrades aufgeschobene kleine Triebrad drückt. Oben sind die beiden Säulen und die Führungsstange durch einen dreieckigen Rahmen verbunden, von dem der Steg *d* vorne einen Ausschnitt zum Einlegen des oberen Endes der Walzenachse *a* besitzt. Der dreieckige, aus dünnen Lamellen geformte Schreibhebel *l* ist um einen axialen Stift *x* drehbar, der etwas geneigt steht, so daß die Schreibfeder mit leichtem Druck sich an die Mantelfläche der Walze *W* anlegt. Zur Führung ist der axiale Stift oben durch ein Loch des oberen Ansatzes *o* von der Hülse hindurchgesteckt, während das untere als Schraube geformte Ende in den unteren Ansatz *u* eingeschraubt ist. An der Spitze des Dreieckhebels ist die auf einem kleinen Schlittenträger angeschraubte Platinfeder *f* angesteckt und mit einer Kopfschraube, die durch einen Schlitz der Hebelspitze hindurchgeht, fixiert.

Die Achse der Registrierwalze steckt mit dem unteren konisch zulaufenden Ende in der tellerförmigen Bodenplatte des Uhrwerkes; über letzteres ist ein glockenförmiger Deckel mit Preßring

Fig. 9.



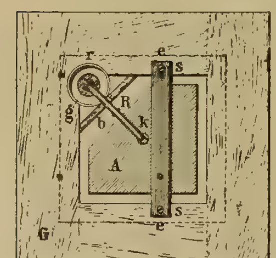
gestülpt. Die Einrichtung des Uhrwerkes ist die gleiche wie bei einem Richard'schen Barographen. Das Planetenrad, das in das fixe Zahnrad am Gestell eingreift, ragt aus der Bodenplatte hervor. Letztere übergreift die Deckhülse vom Uhrwerk und befindet sich auf der Oberseite der Deckplatte eine Ringverstärkung ausgedreht, welche die Führung der darüberzuschiebenden Registriertrommel besorgt. Zu ihrer Fixierung an der Walzenachse ist auf der oberen Deckplatte der Trommel eine Hülse mit Preßschraube angebracht. Das obere Achsenende ist im mittleren Teil, der Ausnehmung am oberen Verbindungssteg *d* des Gestelles entsprechend, stärker gehalten und muß die Walze etwas gehoben werden, damit der schwächere Teil der Achse aus der Ausnehmung heraustreten könne; dadurch wird die Vertikalstellung der Walze während ihrer Rotation erhalten. Der Stift *t*, der durch die Hülse *h* und die Stange *F* hindurchgesteckt werden kann, ermöglicht nach Bedarf eine Fixierung der Zahnstange und des Schwimmerrades.

Die Befestigung des um die Trommel zu legenden, in Millimeter geteilten Registrierpapiers geschieht durch Aufstecken auf die zwei Fixierungsstifte, die aus der Trommelmantelfläche herausragen, und durch Zusammenkleben der sich übergreifenden gummierten Ränder. Am Registrierpapier ist jede 10. Horizontallinie stärker gehalten, ebenso jede 15. Vertikallinie, so daß in der Zeitskala 4^m auf einen Millimeter der Abszisse zu stehen kommen. Der Verjüngungsmaßstab ist 10 : 1, somit 1 *mm* = 1 *cm* in der Natur. Bei der Manipulation des Streifenwechsels, wozu der Apparat mit einer zweiten Trommel ausgerüstet ist, wird der Schreibhebel zurückgelegt und in dieser Stellung durch eine gebogene Plattenfeder *r*, die hinter einem kurzen Stift der Hülse *h* einschnappt, festgehalten. Es muß darauf gesehen werden, daß der untere Rand des Papierblattes knapp an die Bodenplatte angeschoben wird, damit sich die Basislinie nicht ändere.

Der dem Querschnitt des Schachtes konform gebaute Schwimmer *A* aus Zinkblech besitzt oben eine Klemmung *k* für den Phosphorbronzedraht von 0·7 *mm* Dicke, letzterer geht in einem Rundschlag um das Schwimmerrad, dann durch den Schlitz der Deckkappe vom Führungsrohr des Gegengewichtes *g* und wird an letzterem festgemacht.

Der parallelepipedisch geformte Schwimmerschacht (siehe Fig. 10, Daraufsicht von oben) von 26·5 *cm* Lichtweite ist aus Tannenbrettern von 3 *cm* Dicke zusammengeschraubt. An der einen Kante des Kastens, zum Teil in das Holz eingelassen, steht das aus Metall erzeugte Führungsrohr *r* von 75 *mm* innerem Durchmesser für das Gegengewicht *g*, vom Schwimmerraum durch das bis an den Kastenboden reichende Brett *b* abgetrennt. In das Metallrohr, das unten abgeschlossen ist, darf kein Wasser eindringen. Oben am Schwimmerschacht sitzt, ihn hülsenförmig übergreifend, eine aus starken Brettern erzeugte Holzkonstruktion von etwa 32 *cm* Höhe auf, die mit der Grundplatte *G* durch Eisenknie verbunden ist. Letztere bildet sowohl die Unterlage für den Registrierapparat als auch für den dazu gehörenden Schutzkasten aus Holz mit Zinkblechüberzug. Für das Aufmontieren des Gestelles ist über die viereckige Ausnehmung der Grundplatte von ebenfalls 26·5 *cm* Lichtweite ein Eisensteg *ee* eingelegt, der mit den Holzschrauben *ss* festgemacht wird. Vom Basisrahmen des Registrierapparates liegen 2 Ecken am Steg und 2 auf der hölzernen Grundplatte auf; in der Fig. 10 sind die Stellen, wo die Durchlochungen des Rahmens für die Befestigungsschrauben zu liegen kommen, durch schwarze Punkte bezeichnet und sind auch das Schwimmerrad *R* sowie das Gegengewicht *g* ersichtlich gemacht.

Fig. 10.



Der Schwimmerkasten ist unten geschlossen und ist seitlich nahe dem Boden eine vergitterte Öffnung für den Wasserzutritt eingeschnitten. Zur Konservierung der Holzbretter hat sich ein Anstrich mit Moraviafarbe sehr vorteilhaft erwiesen.

Für das Festmachen des Schwimmerschachtes an den Kaimauern und Hafendämmen kommen zweiteilige Eisenbänder und Schraubbolzen in Verwendung.

Die harmonische Analyse erstreckte sich nur auf die Haupttiden *M*, *S* und *K*, die übrigen Flutkonstanten wurden mit Hilfe der auf p. 210 angegebenen Relationen berechnet.

Tide *M*

$$h_M = 0{\cdot}26 \sin (82^\circ 5 + x) + 8{\cdot}14 \sin (37^\circ 9 + 2x);$$

Tide *S*[1]

$$h_S = 9{\cdot}91 \sin (218^\circ 3 + x) + 4{\cdot}36 \sin (202^\circ 7 + 2x).$$

Tide *K*

$$h_K = 14{\cdot}06 \sin (137^\circ 1 + x) + 1{\cdot}90 \sin (252^\circ 8 + 2x).$$

[1] Die ganzjährige Welle der *S*-Tide ist hier nicht mit S_1 identisch, da nur 6 Monate für die harmonische Analyse benutzt wurden, somit in der ganztgägigen *S*-Welle die Tiden *P* und *K* nicht eliminiert sind.

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude *H* in *cm*	4·36	8·50	(1·5)	2·43	15·52	(4·8)	(5·1)
Kappazahl ϰ (M. O. Z.).	247°3	245°8	(246°)	243°7	66°1	(61°)	(58°)

Hafenzeit: 8^h 23^m M. O. Z.

Im Vergleich zu den weiter nördlich gelegenen Stationen haben die Amplituden der Halbtagszeiten rasch abgenommen, H_{M_2} und H_{S_2} betragen nur mehr die Hälfte der bezüglichen Werte für Pola, während H_{K_1} und damit auch die Amplituden der übrigen ganztägigen Tiden fast unverändert geblieben sind. Da nun H_{K_1} doppelt so groß ist wie H_{M_2} und selbst noch $H_{M_2} + H_{S_2}$ überragt, müssen sich hier im Gezeitenablauf Detailerscheinungen ausprägen, wie sie in der Nordadria nicht vorkommen und beobachten wir im Hafen Cigale zum ersten Male, daß hier infolge des starken Überwiegens der ganztägigen Wellen in einzelnen Monaten auch bei den Syzygien nur ein Hochwasser und ein Niedrigwasser zur Ausbildung kommen, somit durch viele Wochen hindurch Eintagsfluten beobachtet werden.

Übereinstimmend mit den bisher untersuchten Stationen haben auch im Hafen von Cigale die Syzygialhochwasser eine kleinere Amplitude als die Niedrigwasser (hier beträgt diese Differenz noch 6·5 *cm*), eine Erscheinung, die — wie wir bei Pola gesehen haben — darauf zurückzuführen ist, daß zur Zeit der starken Niedrigwasser im Jänner und Juli die Tiefstände sämtlicher Haupttiden, das sind M_2, S_2, K_1, P und O nahezu zusammenfallen, während zum Beispiel die maximalen Hochwasser des Juni 1 bis 2 Stunden vor der Kulmination der $M_2 + S_2$-Tiden zustande kommen, zu welcher Zeit die K_1-Welle ihren Hochstand schon um 1—2 und die $P + O$-Wellen ihn um 3—4 Stunden überschritten haben.

Die jahreszeitlichen Umformungen der Syzygialkurven gestalten sich im Laufe des Jahres folgendermaßen: Zur Zeit der größten Hochwasser, das ist anfangs Dezember und anfangs Juni, haben wir Eintagsfluten. Von Ende Jänner an, zu welcher Zeit das zweite Hochwasser um 19^h noch stark entwickelt ist, zeigen sich sekundäre Extreme und zwar um 11^h ein schwaches Hochwasser und um 14^h ein gerade noch angedeutetes Niedrigwasser. Diese sekundären Extreme verstärken sich in der Folge rasch. Die Eintrittszeiten der Hochwasser verfrühen sich, jene der Niedrigwasser weisen in gleichem Maße Verspätungen auf. Die früheren Hauptextreme schwächen sich gleichzeitig ab und ist beim ersten Niedrigwasser eine anfangs langsame, dann etwas stärkere Verfrühung, beim zweiten Hochwasser hingegen ein gleichmäßiges Zurückbleiben zu beobachten. Nachdem im Mai das erste Niedrig- und das zweite Hochwasser gänzlich verschwunden sind, erreicht anfangs Juni das 1. Hochwasser seinen Höchstbetrag, nämlich 30 *cm* in Erdnähe des Mondes und erhält sich dann seine Eintrittszeit fast unverändert bei 7^h bis in den August hinein. Ebenso bleibt die Eintrittszeit des zweite Niedrigwassers, das Mitte Juli seinen Maximalbetrag von 36·5 *cm* aufweist, sehr konstant bei 15^h, und zwar von Mitte Februar bis Mitte August. Dann werden wieder schwache Sekundärbildungen bemerkbar, nämlich um $2^1/_2{}^h$ ein Niedrigwasser und um 22^h ein Hochwasser. Während sich die früheren Hauptextreme — das erste Hoch- und das zweite Niedrigwasser — hinsichtlich ihrer Eintrittszeiten etwas nähern und dabei an Amplitude verlieren, verstärken sich das erste Niedrig- und das zweite Hochwasser rasch, ersteres betreffs der Eintrittszeit sich verspätend, letzteres sich verfrühend. Mitte November sind die beiden nahe an Mitternacht liegenden Extreme nur mehr auf schwache Ausbiegungen im Kurvenverlaufe zusammengeschrumpft. Das erste Niedrigwasser bleibt nun konstant bei 3^h, das zweite Hochwasser bei 19^h, letzteres erreicht seinen zweiten Höchstbetrag anfangs Dezember, ersteres Mitte Jänner.

Mai, Juni und Juli, dann November, Dezember und Jänner haben somit, abgesehen von schwachen Unregelmäßigkeiten, die zumeist durch die elliptische Mondtide hervorgerufen werden, die ganze Zeit über Eintagsfluten. Die größten Syzygialhochwasser — 30 *cm* in Erdnähe des Mondes — werden anfangs Juni und anfangs Dezember, die größten Niedrigwasser — 36·5 *cm* — Mitte Jänner und Mitte Juli beobachtet; gleich hohe Hochwasser bei Voll- und Neumond zeigen sich anfangs März und anfangs September, gleich hohe Niedrigwasser anfangs April und anfangs Oktober; das erste Hochwasser dominiert von Mitte März bis Ende August, das erste Niedrigwasser von Mitte Oktober bis anfangs April, in den bezüglichen zweiten Hälften des Jahres kommen das zweite Hoch-, beziehungsweise zweite Niedrigwasser zur Geltung.

Die größten Fluthöhen sind bei den Syzygien zu beobachten, die auf die Mitte des Juni und Dezember fallen, der Tidenhub beträgt dann bei gleichzeitiger Erdnähe des Mondes theoretisch 64 *cm*.

Zur Zeit der Quadraturen haben wir im Hafen von Cigale das ganze Jahr über Eintagsfluten;. sekundäre Extremen kommen hier ebensowenig wie in Fiume zur Ausbildung und sind etwaige Ausbuchtungen der Kurven nur auf die *N*-Tide zurückzuführen. Von anfangs April bis Ende September ist nur das erste, im zweiten Halbjahr das zweite Hochwasser entwickelt, das andere unterdrückt; von den Niedrigwassern ist von anfangs August bis Ende Jänner das erste, sonst das zweite Niedrigwasser ausgebildet. Beim Übergang von einem Quadraturhoch-, beziehungsweise -niedrigwasser zum andern ist die Flutkurve verflacht und findet dabei ein Zurückspringen der Eintrittszeit des betreffenden Extrems um ungefähr 6 Stunden statt, im übrigen vollzieht sich die Verfrühung der Eintrittszeiten von Monat zu Monat ziemlich gleichmäßig. Die größten Hochwasser — 22 *cm* — beim ersten und letzten Mondviertel werden anfangs Juli und Mitte Dezember, und zwar um 3^h, beziehungsweise 16^h, die tiefsten Niedrigwasser — 23 *cm* — Mitte April und anfangs November um 22^h, beziehungsweise 9^h beobachtet.

Die mittlere Fluthöhe beträgt im Hafen von Cigale 43 *cm*, die mittlere Springflut 56 *cm* und die mittlere Nippflut 30 *cm*.

Die Flutkurven lassen nur schwache lokale Seichenbewegungen von $6·5^m$ Grundschwingung erkennen, die selten 10 *cm* übersteigen.

6. Hafen Pantera (Punte Bianche, I. Grossa).

$\varphi = 44° 9'3$ N; $\lambda = 14° 49'9$ E. v. Gr.

Flutmesser: Transportabler Flutautograph System Fueß vom k. u. k. Hydrographischen Amte.

Aufstellungsort: Westseite des Steinmolo im Hafen Pantera.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 10. September 1912 bis 13. September 1913.

Bei der zweiten Konferenz der permanenten österreichischen italienischen Adriakommission in Monaco war die Vornahme von Flutmessungen im Hafen von Tajer am Südende der Insel Grossa für die Dauer eines Jahres beschlossen worden. Es wurde daher gelegentlich der siebenten Terminfahrt von S. M. Schiff »Najade« der Hafen von Tajer angelaufen, um hier den Mareographen aufzustellen. Mit Rücksicht auf den täglich vorzunehmenden Streifenwechsel konnte hierfür nur die Insel Sestrice mit dem Leuchthause in Betracht kommen und sollte der Apparat an der Stirnseite des kleinen landwärts gerichteten Steinmolo genannter Insel, wo auch im Jahre 1906 ein Flutmesser vom Militärgeographischen Institute in Funktion gestanden war, installiert werden. Da es sich jedoch zeigte, daß der Hafen von Tajer gegen Seegang aus NW und SE nur wenig geschützt ist — der dort 1906 gestandene Flutmesser vom Militärgeographischen Institute war im Jänner 1907 bei schwerem Wetter weggeschwemmt worden — wurde von der Aufstellung des Apparates auf Sestrice Abstand

genommen und der gut geschützte Hafen Pantera bei Spitze Punte Bianche am Nordende der Insel Grossa für die Flutmessungen ausgewählt. Es hat sich gezeigt, daß diese Wahl deshalb eine sehr günstige gewesen war, weil von den in diesem Küstengebiete befindlichen Punkten, die für Flutbeobachtungen in Betracht gezogen werden können, sich die Spitze Punte Bianche der Knotenlinie der halbtägigen Gezeitenwelle am nächsten befindet.

Am 9. September 1912 wurde, von der siebenten Terminfahrt zurückkehrend, mit S. M. Schiff »Najade« im Hafen von Pantera geankert und im Laufe des Tages vom Verfasser die Installierung des Mareographen bewirkt. Am selben Tag begann noch die Registrierung und geschah in der Folge die Bedienung des Apparates durch den Aufseher des Leuchtturmes von Punte Bianche.

Die harmonische Analyse erstreckte sich auf die Haupttiden mit Ausnahme von N und resultieren die folgenden Gleichungen:

Tide M

$$h_M = 1\cdot 09 \sin (180^\circ 3 + x) + 4\cdot 35 \sin (305^\circ 7 + 2x)$$

Tide O

$$h_O = 4\cdot 44 \sin (355^\circ 9 + x) + 0\cdot 24 \sin (286^\circ 1 + 2x)$$

Tide S

$$h_S = 1\cdot 55 \sin (81^\circ 9 + x) + 3\cdot 43 \sin (245^\circ 9 + 2x)$$

Tide P

$$h_P = 3\cdot 36 \sin (321^\circ 1 + x) + 0\cdot 15 \sin (112^\circ 2 + 2x)$$

Tide K

$$h_K = 13\cdot 45 \sin (107^\circ 9 + x) + 1\cdot 39 \sin (228^\circ 4 + 2x)$$

und daraus die

Flutkonstanten:

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude H in cm	3·43	4·56	(0·8)	1·06	12·12	3·37	3·76
Kappazahl $\varkappa$ (M. O. Z.)	204°1	195°3	(195°)	197°0	59°8	50°8	67°7

Hafenzeit = $6^h\ 54^m$ M. O. Z.

Die Ergebnisse der Flutbeobachtungen im Hafen von Pantera sind deshalb von besonderem Interesse, weil an keiner Stelle der Adriatischen Küste die Eintagsfluten so gut ausgeprägt sein dürften wie hier. Die Amplituden von M_2 und S_2 betragen im Hafen von Pantera nur ein Drittel beziehungsweise ein Viertel jener von K_1 und ist die Summe von K_1 und O doppelt so groß als jene von M_2 und S_2, somit die Gezeiten im Küstengebiet bei Punte Bianche jedenfalls zum Eintagstidentypus[1] zu rechnen sind. Es ist auch in keiner Adriatischen Station die ganztägige Sonnentide S_1 so gut ausgebildet wie hier, ihre Amplitude beträgt 1·5 cm.

---

[1] P. van der Stok unterscheidet die folgenden 3 Gezeitentypen:

I. Halbtagstidentypus..........$(K_1 + O) : (M_2 + S_2) = 0 - 0\cdot 25$,

II. Gemischter Typus..........$(K_1 + O) : (M_2 + S_2) = 0\cdot 25 - 1\cdot 25$ und

III. Eintagstidentypus...........$(K_1 + O) : (M_2 + S_2) = 1\cdot 25$ und mehr.

Da weiter gegen Süd die Amplituden der halbtägigen Wellen wieder zunehmen, muß die Knotenlinie der stehenden Gezeitenwelle von halbtägiger Periode, die Adria überquerend, nahe an Punte Bianche vorbeiführen.

Auf den vom Flutmesser aufgezeichneten Kurven sehen wir zumeist ein Maximum und ein Minimum gut ausgeprägt, wie dies bei einem so starken Überwiegen der K_1-Tide auch nicht anders zu erwarten ist, nur in der Nähe der Syzygien im Februar bis April und im August bis Oktober, in welchen Monaten die K_1-Tide durch die anderen ganztägigen Partialtiden abgeschwächt wird, kommen schwache Doppelschwingungen zustande. Abgesehen von auf mehrere Stunden ausgedehnte Verflachungen oder Unregelmäßigkeiten im Kurvenverlauf, die ein zweites Hochwasser andeuten, beobachten wir in der Regel täglich nur einen Hochstand des Wassers, der sich aber nahe Voll- und Neumond noch nach der Mondeskulmination richtet und haben wir bei den Syzygien von Mitte März bis anfangs September, also im Sommerhalbjahr das erste, im Winterhalbjahr das zweite nach 0^h auftretende Hochwasser von $M_2 + S_2$ ausgebildet; ersteres tritt gegen 6^h, letzteres zwischen 18 und 19^h auf. Die größten Hochwasser — 24 *cm* in Erdnähe des Mondes — werden Mitte Juni und Mitte Dezember, die tiefsten Niedrigwasser — 25 *cm* — Mitte Jänner und Mitte Juli beobachtet. Von Mitte Oktober bis anfangs April kommt das erste, von Mitte April bis anfangs Oktober das zweite Niedrigwasser zur Geltung; ersteres tritt gegen 2^h, letzteres gegen 14^h auf. Die Differenz zwischen der Elevation des Wasserspiegels beim maximalen Hochwasser und seiner Depression beim tiefsten Niedrig-

Fig. 11.

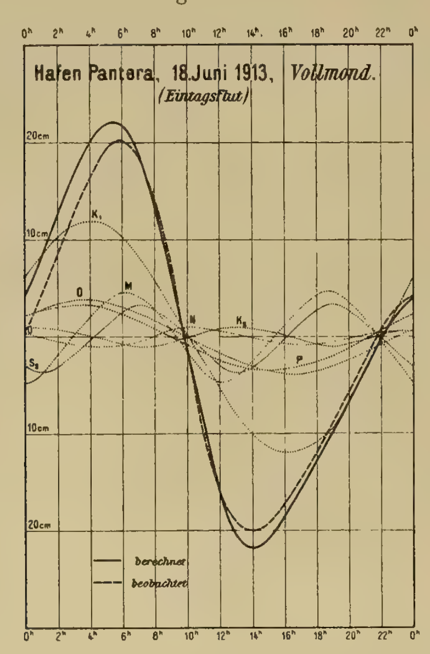
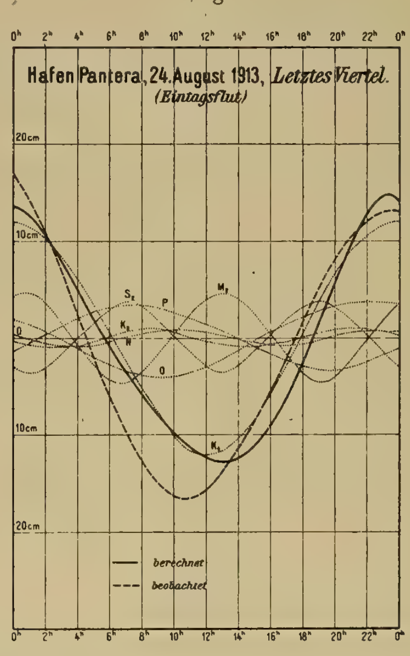


Fig. 12.



wasser, die im Hafen von Cigale noch 6·5 *cm* ausgemacht hatte, ist hier auf 1 *cm* gesunken. Die größten Fluthöhen (theoretisch 47 *cm*) sind bei den Springgezeiten nahe den Solstitien zu beobachten.

In Fig. 11 sind die durch Synthese der Partialtiden erhaltene und die registrierte Flutkurve vom 18. Juni 1913 dargestellt. Da wir an diesem Tage Vollmond haben, koinzidieren die Halbtagsgezeiten M_2 und S_2, desgleichen die Deklinationstiden P und O, letztere kulminieren etwa drei Stunden vor dem ersten Hochstand der M_2-Tide und tragen sie daher noch erheblich zur Verstärkung des ersten Hochwassers bei. Dasselbe gilt von der K_1-Tide, die etwa $2^1/_2$ Stunden vor der M_2-Tide kulminiert. Betreffs des zweiten Hochwassers von M_2 ist, wie aus der Figur ersichtlich, die Anordnung der Partialtiden

eine derartige, daß die zweite Flut ganz unterdrückt wird und dafür um 14^h ein ziemlich tiefes Niedrigwasser zur Ausbildung kommt. Die schwachen N- und K_2-Tiden bewirken nur eine unregelmäßige Verminderung des Tidenhubes.

Bei den Quadraturen richtet sich das Hochwasser ganz nach der Kulmination der $K_1 + K_2$-Tiden, weil die Nippgezeit von $M_2 + S_2$ auf 1·1 *cm* herabgesunken ist. Die Flutkurven zeigen somit durchaus den Charakter von Eingangstiden (Fig. 12) und wandern die Eintrittszeiten der Hoch- und Niedrigwasser im Laufe des Jahres durchschnittlich um 2 Stunden im Monat zurück; bei den Hochwassern geschieht die Verfrühung nahe den Äquinoktien etwas rascher, nahe den Solstitien langsamer, bei den Niedrigwassern geht die Verschiebung der Kulminationszeiten während des ganzen Jahres recht gleichmäßig vor sich. Sekundäre Extreme kommen nicht zur Ausbildung. Die größten Quadraturhochwasser treten beim ersten und letzten Mondviertel anfangs Februar gegen Mitternacht und anfangs August gegen Mittag auf (13 *cm*), eine Verflachung auf 11 *cm* ist im Mai und November zu beobachten und kommen zu dieser Zeit die tiefsten Niedrigwasser (14 *cm*) gegen 18^h, beziehungsweise 6^h zur Ausbildung.

Die im Laufe des Monats von den Syzyzien zu den Quadraturen usw. vor sich gehenden Verschiebungen der Hochwasser zeigen auch einen gewissen jährlichen Gang, der hauptsächlich durch die mit den Jahreszeiten wechselnden Eintrittszeiten der Nippfluten bedingt ist. So beobachten wir sehr geringe Verschiebungen in den Hochwasserzeiten in den Monaten April, Mai, Oktober und November, in welchen Monaten die Eintrittszeiten der Spring- und Nippfluten nur wenig differieren, es fällt dann oft durch Wochen das Hochwasser nahezu auf dieselbe Stunde. In den anderen Monaten verspäten sich die Eintrittszeiten der Hochwasser von den Syzygien gegen die Quadraturen sukzessive, um dann etwa zwei Tage vor dem Eintritt des ersten oder letzten Viertels um ungefähr acht Stunden zurückzuspringen, worauf eine neue sukzessive Verspätung der Hochwasser Platz greift.

Die mittlere Fluthöhe im Hafen von Pantera beträgt nach den Aufzeichnungen des Mareographen 37, bei Springflut im Mittel 46, bei Nippflut 28 *cm*.

Für die Berechnung der halbmonatlichen Ungleichheiten und der Hochwasserhöhen (Tabelle IV und V, p. 90 und 96) diente die gleiche Methode wie für Pola und können diese Tabellen für das Küstengebiet zwischen der Insel Unie und der Südspitze der Insel Grossa einschließlich der Kanäle, somit auch für Zara benutzt werden.

Die im Hafen von Pantera registrierten Flutkurven zeigen auch bei ruhigem Wetter vielfache Seichenbildungen, von denen eine Grundschwingung von 18^m dominiert. Bei böigen Winden werden die Amplituden dieser Seichen oft sehr groß, so wurde zum Beispiel am 28. September 1913 um $3^1/_2{}^h$ p. m. eine Niveauschwankung von 82 *cm* innerhalb 20 Minuten beobachtet.

Zara.

$\varphi = 44° 7{\cdot}1$ N; $\lambda = 15° 13{\cdot}6$ E. v. Gr.

Flutmesser: Transportabler Flutautograph System Fueß vom k. u. k. Hydrographischen Amte.

Aufstellungsort: Bassin an der Südseite der Bastione Castello und zwar an der Innenseite der Brücke, die über den Kanal zum Bassin gelegt ist.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 17. Mai 1909 bis 16. Mai 1910.

Die Flutmessungen in obgenannter Periode geschahen zur Reduktion der Lotungen gelegentlich von Aufnahmsarbeiten in Mitteldalmatien und wurde die Aufstellung des Flutmessers durch den damaligen Korvettenkapitän A. Catinelli Edler v. Obradich-Bevilacqua bewirkt. Außerdem

sind noch zwei Beobachtungsreihen vorhanden, nämlich zunächst jene der ständigen Adriakommission, die sich vom 29. Jänner bis 4. November 1869 erstreckte. Prey hatte daraus die Hafenzeit für Zara mit $7^h\ 46^m$ abgeleitet und wie für die andern damals in Betrieb gestandenen Flutstationen auch eine Tabelle der mittleren halbmonatlichen Ungleichheiten berechnet. Von Professor Klekler liegt überdies die Berechnung der Flutkonstanten nach der Methode von Stahlberger vor, die als Hafenzeit den gewiß zu großen Wert $8^h\ 22^m$ und als Verhältniszahl der Mond- zur Sonnenwirkung 1·99 ergeben hatte.

Eine zweite Reihe von Flutmessungen in Zara, die vom Militärgeographischen Institute zur Bestimmung der Mittelwasserhöhen in mehreren Stationen Dalmatiens ausgeführt wurden, reicht vom 5. Mai bis 31. Dezember 1906 und sind die stündlichen Angaben dieser Reihe sowie die Monatsmittel in den »Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes«, XXVI. Band (1906) veröffentlicht worden.

Die harmonische Analyse wurde nur auf die *M*-, *S*- und *K*-Tiden ausgedehnt, die übrigen Konstanten mittels der für das Adriatische Meer bekannten Relationen berechnet.

Die Gleichungen für die *M*-, *S*- und *K*-Tiden lauten:

Tide *M*

$$h_M = 0 \cdot 91 \sin (348\overset{\circ}{.}0 + x) + 6 \cdot 31 \sin (268\overset{\circ}{.}6 + 2x)$$

Tide *S*

$$h_S = 1 \cdot 13 \sin (48\overset{\circ}{.}5 + x) + 3 \cdot 25 \sin (214\overset{\circ}{.}5 + 2x)$$

Tide *K*

$$h_K = 13 \cdot 89 \sin (338\overset{\circ}{.}6 + x) + 1 \cdot 06 \sin (314\overset{\circ}{.}4 + 2x)$$

und daraus die

Flutkonstanten:

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude *H* in *cm*	3·25	6·47	(1·1)	0·95	13·19	(4·1)	(4·3)
Kappazahl ϰ (M. O. Z.)	235°5	232°6	(23°)	228°7	68°2	(63°)	(59°)

Hafenzeit = $7^h\ 55^m$ M. O. Z.

Obzwar nur zwei Meilen südlicher als Punte Bianche, sind in Zara die Kappazahlen der Halbtasgtiden im Mittel um 15° größer als auf der vorgenannten Station. Bei den ganztägigen Tiden ist dagegen eine größere Änderung dieser Konstanten nicht zu bemerken.

Die Amplitude der Hauptmondtide ist im Vergleich zu Punte Bianche wieder größer geworden, bei den übrigen Wellen haben sich die Amplituden nur wenig geändert. Da betreffs der Amplituden $(K_1 + O) : (M_2 + S_2) = 1 \cdot 8$ somit $> 1 \cdot 25$ ist, gehören die Gezeiten von Zara auch noch zum Eintagstidentypus und beobachten wir hinsichtlich der jahreszeitlichen Verschiebungen im Gezeitenablaufe die gleichen Erscheinungen wie bei Punte Bianche und im Hafen Cigale: selbst in den Syzygialkurven sind hier von Mitte Mai bis Ende Juli und dann von Ende November bis Mitte Jänner nur ein Hochwasser und ein Niedrigwasser ausgebildet. Die ganztägige Sonnentide S_1 ist auch hier gut entwickelt und übersteigt ihre Amplitude 1 *cm*.

Die mittlere Fluthöhe beträgt 38 *cm* und ist der jahreszeitliche Gang der Monatsmittel sehr gut ausgeprägt; bei Springflut ist die Fluthöhe im Mittel 50 *cm*, bei Nippflut 27 *cm*.

Die größten Syzygialhochwasser werden Mitte Juni (erstes Hochwasser) und Mitte Dezember (zweites Hochwasser) — 25·5 *cm* bei Erdnähe des Mondes — die tiefsten Niedrigwasser bei Springflut Ende Jänner (erstes Niedrigwasser) und Ende Juli (zweites Niedrigwasser) — 29 *cm* — beobachtet; die größten Fluthöhen (theoretisch 54 *cm*) kommen nahe den Solstitien zur Ausbildung. Bei den Nippfluten treten die größten Hochwasser — 16·5 *cm* — Ende Juli (2^h) und Ende Jänner (14^h) auf; die tiefsten Niedrigwasser bei den Mondvierteln — 16·5 *cm* — werden Ende April (21^h) und Anfang November (9^h) registriert.

Das Voreilen der Eintrittszeiten bei den Extremen geschieht hier nicht mehr so gleichmäßig wie im Hafen von Pantera, da auf den regelmäßigen Kurvenverlauf die Nippflut der Halbtagszeiten (3·2 *cm*) schon einigermaßen störend wirkt; so sehen wir im jährlichen Verlauf der Eintrittszeiten vom Hochwasser nahe den Äquinoktien Sprünge von 12^h auf 7^h (Frühjahrsäquinoktium), beziehungsweise von 24^h auf 19^h (Herbstäquinoktium), zu welcher Zeit die Hochstände am kleinsten sind. Ähnliche Erscheinungen kommen bei den Niedrigwassern Ende Jänner und Ende Juli zur Wahrnehmung.

Die im Hafen von Zara registrierten Flutkurven verlaufen selten glatt, sie sind fast immer durch Seichenbildungen mehr oder weniger gestört. Am häufigsten und am regelmäßigsten ausgebildet ist eine stationäre Welle von $12 \cdot 7^m$ Periode; bei frischen Winden zeigen sich im Kanal von Zara öfters lange flache Wellen mit durchschnittlich 137^m Schwingungsdauer, zuweilen werden auch noch Seichen mit 60^m und dann noch solche mit 6^m Periode beobachtet. Die Amplituden aller dieser stationären Wellen erreichen jedoch selten 20 *cm*.

I. Sestrice.

$\varphi = 43° \ 51'3$ N.; $\lambda = 15° \ 12'4$ E. v. Gr.

Flutmesser: Selbstregistrierender Gezeitenpegel vom Militärgeographischen Institute.

Aufstellungsort: Stirnseite des Molo.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 2. August bis 30. Dezember 1906.

Zur Kontrolle des Nivellements und der trigonometrischen Höhenbestimmungen in Dalmatien, sowie zum Zwecke anderer Untersuchungen wurden im Jahre 1906 über Anregung des seither verstorbenen Generalmajors Dr. von Sterneck transportable registrierende Flutmesser in Zara, Rogoznica und auf der Insel Sestrice aufgestellt. Die Bearbeitung der Registrierbögen geschah in der Nivellementabteilung des Militärgeographischen Institutes; die stündlichen Angaben sind im XXVI. Band der Mitteilungen vom genannten Institute veröffentlicht worden.

Auf der Insel Sestrice stand der Flutmesser an der Stirnseite des gegen den Hafen von Tajer gerichteten kleinen Molo; die Bedienung des Apparates besorgte der Leuchtturmwächter. Leider konnten die mit 8. Mai beginnenden Aufzeichnungen nicht über ein ganzes Jahr ausgedehnt werden, da der Flutpegel im Jänner 1907 durch Seegang beschädigt worden ist. Die Aufzeichnungen waren überdies auch unvollständig, da vom 16. Juni bis 1. Juli und vom 3. bis 25. Juli wegen Störungen im Betriebe des Apparates die Registrierung unterblieben ist. Für die harmonische Analyse standen somit nur 5 Monate zur Verfügung, welcher Zeitraum nicht ausreicht, um die große Lunisolartide K_1 frei vom Einfluß der Hauptsonnentide S_2 zu bekommen, die Analyse konnte somit nur auf die M_2 und S_2-Tide ausgedehnt werden, während K_1 durch graphische Interpolation zwischen den bezüglichen Werten von Pola und Ragusa und die übrigen Tiden mittels der für die Adria ermittelten Relationen abgeleitet worden sind.

Tide M

$$h_M = 0{\cdot}77 \sin(84^\circ 3 + x) + 4{\cdot}99 \sin(344^\circ 6 + 2x)$$

Tide S^1

$$h_S = 5{\cdot}56 \sin(145^\circ 8 + x) + 3{\cdot}74 \sin(306^\circ 5 + 2x)$$

und hieraus die

Flutkonstanten:

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude H in *cm*	3·74	4·88	(0·8)	(1·2)	(11·5)	(3·6)	(3·8)
Kappazahl $\varkappa$ (M. O. Z.)	143°5	154°3	(154°)	(138°)	(60°)	(55°)	(51°)

Hafenzeit = $5^h\ 5^m$ M. O. Z.

Vergleicht man die durch die Analyse erhaltenen Kappazahlen von M_2 und S_2 mit den bezüglichen Werten der anliegenden Stationen, so zeigt sich, daß auf der Strecke von Punte Bianche bis Sestrice die Abnahme dieser Winkel ihr Maximum erreicht. Sie beträgt hier 2°0 für eine Seemeile, während für die Strecken Hafen Cigale—Punte Bianche 1°67, Pola—Hafen Cigale 0·63° und Sestrice—Sebenico 0°52 resultieren. Dementsprechend ist auch auf dieser Strecke die Abnahme der Hafenzeit am größten, sie beträgt $3^h\ 18^m$, hingegen vom Hafen Cigale bis Pola nur 42^m.

Die Amplituden von M_2 und S_2 sind in Sestrice nur um ein geringes größer als bei Punte Bianche (Hafen von Pantera). Was die Flutkonstanten der ganztägigen Tiden betrifft, die durch Interpolation, beziehungsweise durch Reduktion gefunden wurden, so sind hier keine wesentlichen Änderungen in bezug auf die Nachbarorte zu bemerken.

Zur Zeit der Syzygien werden die größten Hoch- und Niedrigwasser zu den gleichen Terminen wie im Hafen von Pantera beobachtet und gilt dies auch betreffs des Auftretens der gleich hohen Extreme. Die Amplitude der maximalen Syzygialhochwasser — 23·5 *cm* bei Erdnähe — ist in dieser Station zum erstenmal größer als jene der tiefsten Niedrigwasser, die nur 21 *cm* beträgt.

Von Ende Mai bis Ende Juli ist nur das erste Hoch- und das zweite Niedrigwasser, von anfangs Dezember bis Ende Februar nur das zweite Hoch- und erste Niedrigwasser zu erkennen; in diesen Monaten haben wir somit auch bei den Syzygien Eintagsfluten. Die größten Fluthöhen — 44 *cm* in Erdnähe — kommen dann zur Ausbildung, wenn die Syzygien anfangs Juli und anfangs Jänner eintreten.

Nahe den Quadraturen finden wir wie bei Punte Bianche ständige Eintagsfluten, die größten Hochwasser — 12 *cm* — werden anfangs Februar und Ende August, die tiefsten Niedrigwasser — 14·5 *cm* — Ende April und Ende November registriert; die Amplituden der Niedrigwasser sind etwas größer als jene der Hochwasser, eine Erscheinung die von Punte Bianche angefangen in der ganzen mittleren und südlichen Adria beobachtet wird und durch die Anordnung der K_2 zur K_1-Tide bedingt ist. Die Eintrittszeiten der maximalen Hochwasser fallen beim ersten und letzten Mondviertel im Februar auf 13^h, im August auf Mittag, jene der tiefsten Niedrigwasser im April auf 20^h, im November auf 6^h, im Laufe des Jahres verfrühen sich diese Eintrittszeiten von Monat zu Monat ziemlich regelmäßig, abgesehen von einer größeren Voreilung in der Nähe der Verflachungen der betreffenden Kurvenhälften.

Aus den fünfmonatigen, nicht ganz vollständigen Aufzeichnungen ergibt sich eine mittlere Fluthöhe von 28 *cm*. Bei den Springfluten beträgt der mittlere Tidenhub 38, bei den Nippfluten nur 18 *cm*.

Sebenico.

φ : 43° 43'3 N; λ : 15° 51'4 E. v. Gr.

Flutmesser: Transportabler Flutautograph System Fuess vom k. u. k. Hydrographischen Amte.

Aufstellungsort: Außenseite des kleinen Molo vom Bootshafen beim Fort S. Nicolò.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 7. Dezember 1907 bis 10. Dezember 1908.

Wie in Zara fanden auch in Sebenico die Flutmessungen zur Reduktion der Lotungen während der Aufnahmsarbeiten in Mitteldalmatien statt und hatte die Aufstellung des Flutautographen der damalige Korvettenkapitän A. Catinelli von Obradich-Bevilaqua bewirkt. Die Bedienung des Apparates geschah durch den Geschützmeister vom Fort S Nicolò.

Mittels der harmonischen Analyse wurden für die Tiden M, S und K die untenstehenden Gleichungen gefunden.

Tide M

$$h_M = 0{\cdot}48 \sin (267^\circ 2 + x) + 6{\cdot}25 \sin (256^\circ 0 + 2\,x)$$

Tide S

$$h_S = 0{\cdot}55 \sin (59^\circ 6 + x) + 4{\cdot}43 \sin (316^\circ 3 + 2\,x)$$

Tide K

$$h_K = 9{\cdot}25 \sin (188^\circ 1 + x) + 1{\cdot}36 \sin (93^\circ 3 + 2\,x)$$

und daraus mit Benutzung der für die Adria abgeleiteten Relationen die

Flutkonstanten:

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude H in *cm*	4·43	6·29	(1·1)	1·39	9·25	(2·9)	(3·0)
Kappazahl $\varkappa$ (M. O. Z.)	133°7	138°3	(138°)	129°1	57°1	(53°)	(49°)

Hafenzeit = $4^h\ 38^m$ M. O. Z.

Aus obenstehenden Daten ist zu ersehen, daß im Vergleich zu Punte Bianche die Amplituden der Halbtagsgezeiten in Sebenico merklich zugenommen, hingegen jene der ganztägigen Welle sich weiter vermindert haben und ist Sebenico südwärts von Punte Bianche die erste Station, wo die Summe der Amplituden von M_2 und S_2 jene der Lunisolartide K_1 wieder zu überragen beginnt.

Das Verhältnis $M_2 : S_2$ gibt den Wert 1·42, einen relativ kleinen Betrag im Vergleich zur Nordadria.

Betreffs der Kappazahlen ist zu bemerken, daß ihre Abnahme bei den Halbtagsgezeiten, die auf der Strecke Punte Bianche—Sestrice ihr Maximum erreicht hatte, nunmehr erheblich kleiner geworden

ist und beträgt sie auf der Strecke Sestrice—Sebenico — den Abstand in der Längenachse der Adria gerechnet — nur mehr 0°52 für eine Seemeile. Die Kappazahlen der ganztägigen Tiden weisen keine systematischen Änderungen auf.

Bildet man die Differenzen der Mittel der Kappazahlen von den Halbtags- und von den ganztägigen Gezeiten, so ergibt sich für Sebenico nur 80°, während dieses Mittel für Punte Bianche noch 140° ausgemacht hatte, also ein sehr erheblicher Unterschied und müssen sich daher in Sebenico abgesehen von Variationen in der Fluthöhe auch Änderungen in der Jahresfolge des Gezeitenablaufes geltend machen. So haben wir in Sebenico bei den Syzygien das erste Niedrigwasser in der Zeit von anfangs Juni bis anfangs November stärker ausgebildet als das zweite, während umgekehrt in allen weiter nördlich gelegenen Stationen das erste Niedrigwasser in den Wintermonaten die Oberhand gehabt hatte. Bei den Quadraturen zeigt sich eine solche Umkehrung betreffs der Zeitperiode, wann das erste, beziehungsweise zweite Hochwasser zur Entwicklung kommt. Eine weitere auffällige, übrigens auch schon bei Sestrice beobachtete Erscheinung liegt darin, daß hier im Gegensatz zur Nordadria, wo bei den Syzygialkurven das Hochwasser gegenüber dem Niedrigwasser eine kleinere Amplitude aufzuweisen hat, nunmehr bei der Springflut das Wasser höher steigt, als es bei der Ebbe zu fallen vermag, eine Ungleichheit, die in der geänderten Situation der Halbtagstiden M_2 und S_2 zu der Lunisolartide K_1 einerseits und zu den Deklinationstiden P und O andererseits ihren Grund hat und werden wir hierauf bei der Besprechung der Koinzidenzerscheinungen der Einzeltiden für die Station Ragusa noch zurückkommen.

Die größten Syzygialhochwasser kommen in Sebenico in den Monaten Juni und Dezember zur Ausbildung, wir beobachten also hier im Vergleich zur Nordadria eine Verschiebung von einem Monat gegen den Herbst zu. In Erdnähe des Mondes beträgt die maximale Hochwasseramplitude 25 *cm*; zur Zeit der Äquinoktien sind beide Hochwasser gleich und ist im Sommerhalbjahr das erste, im Winter das zweite Hochwasser das größere. Die tiefsten Niedrigwasser werden anfangs August und anfangs Jänner beobachtet, die größte Senkung des Wasserspiegels beträgt 19 *cm*, somit eine Ungleichheit von 6 *cm* zu Stande kommt. Ende Mai und Ende November sind beide Niedrigwasser gleich, von anfangs Juni bis anfangs November ist das erste, in der übrigen Zeit das zweite Niedrigwasser das stärkere.[1]

Die größten Fluthöhen — 43 *cm* — kommen bei den Syzygien anfangs Jänner und anfangs Juli zustande.

Nahe den Quadraturen gibt es auch in Sebenico nur Eintagsfluten und kommen die halbtägigen Nippgezeiten, die erst 1·8 *cm* ausmachen, nur dadurch zur Geltung, daß in den Verfrühungen der Eintrittszeiten von den Extremwerten sich dann sprungweise Änderungen einstellen, wenn sich die betreffenden Kurventeile verflachen, wobei dem größten Hochwasser das kleinste Tiefwasser und umgekehrt gegenüberstehen. Die größten Hochwasser beim ersten und letzten Mondviertel werden Ende Februar (Mitternacht) und Ende August (Mittag) beobachtet, die Amplitude ist dann 10 *cm*; die tiefsten Niedrigwasser weisen die Quadraturkurven von Mitte Mai (18^h) und Mitte November (6^h) auf. Ihre Amplitude beträgt 13 *cm* und haben somit die Niedrigwasser eine um ungefähr 3 *cm* größere Amplitude als die Hochwasser. Sprünge bis zu 6 Stunden in der sonst regelmäßigen Verfrühung der Eintrittszeiten sind bei den Hochwassern Ende Mai und Ende Oktober, bei den Niedrigwassern im Betrage von 4 Stunden Ende Februar und im August zu beobachten.

Aus dem Beobachtungsjahr ergibt sich eine mittlere Fluthöhe von 31 *cm*, bei den Syzygien beträgt der Tidenhub 41, bei den Quadraturen 21 *cm*.

Die Flutkurven im Kanal von S. Nicolò verlaufen zumeist glatt, die nur schwachen Seichenbildungen zeigen ein kompliziertes Bild und sind dabei zwei Wellensysteme zu unterscheiden, das

---

[1] Bei den Syzygialkurven von Sebenico sind die Begriffe erstes und zweites Niedrigwasser schwer auseinanderzuhalten, weil die Tiefstände nahe an 12^h und 24^h eintreten.

stärker entwickelte mit 49·5^m und das schwächere mit 10·5^m Periode. Bei ersterem erreichen die Schwingungen eine Amplitude von ungefähr 15 *cm*, bei letzterem eine solche von 5 *cm*. Eine sehr starke lokale Seiche wurde bei Böenwetter am 7. August 1908 beobachtet. Nach vorangegangenen unregelmäßigen Oszillationen stieg damals das Wasser um $3^h\ 24^m$ p. um 33 *cm* und folgte dann ein rascher Abfall von 55 *cm*. Stärkere, in der Amplitude rasch wechselnde Schwingungen erhielten sich dann noch bis Mittag des folgenden Tages.

Rogoznica.

$\varphi = 43°\ 31'6$ N; $\lambda = 15°\ 58'1$ E. v. Gr.

Flutmesser: Selbstregistrierender Gezeitenpegel vom Militärgeographischen Institute.

Aufstellungsort: Gemauerter Quai beim Sanitätsgebäude.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 1. Juli bis 30. Dezember 1906.

Die Flutmessung in Rogoznica geschah vom Militärgeographischen Institute zur Mittelwasserbestimmung und verfolgte sie den gleichen Zweck wie jene von Sestrice etc.

Für die harmonische Analyse konnte die vollständige Aufzeichnung von 6 Monaten herangezogen werden und ergaben sich daraus die Gleichungen:

Tide *M*

$$h_M = 0{\cdot}91 \sin (124°6 + x) + 6{\cdot}66 \sin (67°7 + 2x)$$

Tide *S*

$$h_S = 4{\cdot}54 \sin (117°7 + x) + 4{\cdot}65 \sin (311°5 + 2x)$$

Tide *K*

$$h_K = 8{\cdot}38 \sin (203°2 + x) + 0{\cdot}48 \sin (326°1 + 2x)$$

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude *H* in *cm*	4·65	6·59	(1·1)	(1·4)[1]	8·98	(2·8)	(2·9)
Kappazahl κ (M. O. Z.)	138°5	142°8	(143°)	126°7	67°9	(63°)	(59°)

Hafenzeit = $4^h\ 48^m$ M. O. Z.

Die Flutkonstanten von Rogoznica weisen sehr geringe Unterschiede gegen die bezüglichen Werte von Sebenico auf und herrschen daher in diesen beiden Häfen die gleichen Gezeitenverhältnisse.

Als mittlere Fluthöhe resultierte für die 6 Monate Juli-Dezember 30 *cm*, hierbei für die Syzygien 42 und für die Quadraturen 18 *cm*.

[1] Statt des aus der Analyse folgenden unwahrscheinlich kleinen Wertes der Amplitude von K_2 wurde mit Benutzung der den Adriatischen Stationen entsprechenden Relation $H_{K_2} = 0{\cdot}31\ H_{S_2}$ der Wert 1·4 berechnet.

Comisa (I. Lissa).

$\varphi = 43° \, 2'7$ N; $\lambda = 16° \, 5'3$ E. v. Gr.

Flutmesser: Transportabler Flutautograph System Fuess vom Hydrographischen Amte.

Aufstellungsort: Innenseite des Molo im Hafen von Comisa.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 1. Jänner 1911 bis 5. Jänner 1912.

Zu den Küstenpunkten, wo nach dem Beschlusse der ersten Konferenz österreichischer und italienischer Ozeanographen und Biologen im Mai 1910 Flutmessungen vorzunehmen waren, gehörte auch die Rhede von Comisa und geschah dort die Aufstellung eines selbstregistrierenden Flutmessers durch das Hydrographische Amt noch am Schluß des Jahres 1910. Die Aufzeichnungen begannen am 1. Jänner 1911. Die Bedienung des Apparates besorgte der Deputierte des Hafenamtes. Die harmonische Analyse erstreckte sich auf sämtliche sechs Haupttiden und resultierten die folgenden Gleichungen:

Tide M

$$h_M = 0 \cdot 26 \sin (314°8 + x) + 7 \cdot 10 \sin (313°0 + 2x)$$

Tide N

$$h_N = 0 \cdot 09 \sin (102°6 + x) + 1 \cdot 25 \sin (79°8 + 2x)$$

Tide O

$$h_O = 2 \cdot 89 \sin (198°1 + x) + 0 \cdot 27 \sin (273°6 + 2x)$$

Tide S

$$h_S = 0 \cdot 34 \sin (65°4 + x) + 5 \cdot 16 \sin (328°5 + 2x)$$

Tide P

$$h_P = 2 \cdot 40 \sin (207°5 + x) + 0 \cdot 08 \sin (140°2 + 2x)$$

Tide K

$$h_K = 8 \cdot 56 \sin (217°0 + x) + 1 \cdot 79 \sin (162°3 + 2x)$$

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude *H* in *cm*	5·16	7·40	1·30	1·44	7·83	2·40	2·51
Kappazahl κ (M. O. Z.)	121°5	110°5	113°0	117°8	58°3	52°5	42°0

Hafenzeit = $3^h \, 55^m$ M. O. Z.

Im Vergleich zu den Stationen Sebenico und Rogoznica sind in Comisa die Amplituden der Halbtagsgezeiten etwas größer geworden, jene der ganztägigen Wellen haben weiter abgenommen. Die Verhältniszahl $M_2 : S_2 = 1 \cdot 44$ ist von jener von Sebenico kaum verschieden. Die Kappazahlen der Halbtagstiden weisen eine weitere Abnahme von rund 20° auf, jene der ganztägigen Tiden zeigen

keine wesentliche Änderung. Die mittlere Fluthöhe wurde aus den stündlichen Aufzeichnungen des Beobachtungsjahres zu 31 *cm* gefunden, also fast gleich wie für Sebenico; bei den Syzygien beträgt die mittlere Fluthöhe 42 *cm*, bei den Quadraturen 21 *cm*. In den Monatsmitteln der Fluthöhen sind auch hier die in der Nordadria beobachteten Maxima bei den Solstitien und die Minima bei den Äquinoktien zu erkennen.

Die größten Hochwasser bei Springflut — 25 *cm* in Erdnähe des Mondes — werden in Comisa wie in der ganzen südlichen Adria nahe den Solstitien beobachtet; die tiefsten Niedrigwasser — 19 *cm* — fallen auf Ende Februar und Ende August, die größten Niveauschwankungen — 43 *cm* — in Erdnähe des Mondes — kommen bei den Syzygien Ende Jänner und Ende Juli zur Ausbildung. Betreffs der Zeitperiode, wann das erste, beziehungsweise zweite Hochwasser (Niedrigwasser) stärker entwickelt sind, gilt für Comisa das gleiche wie für Sebenico.

Da die Nippgezeit von M_2 und S_2 nur $2 \cdot 2$ *cm*, die K_1-Tide aber $7 \cdot 8$ *cm* ausmachen, so haben wir auch in diesem Hafen nahe den Quadraturen das ganze Jahr über Eintagsfluten, die sich durchaus nach der jeweiligen Lage der K_1-Tide richten. Die größten Quadraturhochwasser werden dabei nahe den Äquinoktien, die kleinsten nahe den Solstitien beobachtet, den größten Fluten stehen die schwächsten Ebben gegenüber und umgekehrt. Über den jahreszeitlichen Gang in den Nippfluten gilt das Folgende: Nahe dem Frühlingsäquinoktium fällt das Hochwasser auf 9^h und das Niedrigwasser auf $20\,{}^1/_2{}^h$; ersteres ist gerade in maximaler Entwicklung — $9 \cdot 5$ *cm* — und nimmt seine Amplitude von da an gegen den Sommer zu ab, während das Niedrigwasser im Wachsen begriffen ist. In den folgenden Monaten verfrühen sich die Eintrittszeiten der Extreme, beim Hochwasser langsam, beim Niedrigwasser rascher, im Juni haben wir das tiefste Quadraturniedrigwasser — 12 *cm* — und tritt dabei im positiven Teil der Kurve eine Verflachung ein. Im Juli springt dann die Eintrittszeit des Hochwassers auf Mittag zurück, während seine Amplitude wieder zunimmt, um nahe dem Herbstäquinoktium nochmals den Höchstbetrag zu erreichen. Ende November findet abermals eine Verflachung der Flut statt und kommt es dabei zu einem Übergang der Hochwasserzeit von 21^h auf 13^h. Die Amplitude des Hochwassers nimmt hierauf zu und verfrüht sich seine Eintrittszeit von da ab um ungefähr eine Stunde monatlich. Das Niedrigwasser, das Ende Juni seinen größten Tiefstand aufzuweisen hatte, verflacht sich bis zum September auf 7 *cm*, dann wächst es wieder bis zum zweiten Maximalbetrag im Dezember und vollzieht sich über den Rest des Jahres eine mehr gleichmäßige Verfrühung seiner Eintrittszeiten mit etwas größeren Sprüngen nahe den Äquinoktien, zu welchen Zeiten der negative Teil der Kurve abgeflacht ist.

Seichenerscheinungen sind in den Flutkurven von Comisa nur sehr schwach ausgebildet, angedeutet ist eine stehende Welle mit 10^m Periode, ihre Amplitude übersteigt selten 10 *cm*.

Die in den Tabellen IV, u. V, p. 91 u. 97, zusammengestellten halbmonatlichen Ungleichheiten und Hochwasserhöhen wurden nach der gleichen Methode wie für Pola berechnet.

I. Pelagosa.

$\varphi = 42° \; 23'6$ N; $\lambda = 16° \; 15'1$ E. v. Gr.

Flutmesser: Transportabler Flutautograph System Fuess vom Hydrographischen Amte.

Aufstellungsort: Brandungsnische in der Bucht Stara vlaka nahe dem Westrande der Insel.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 16. Februar 1913 bis 20. Februar 1914.

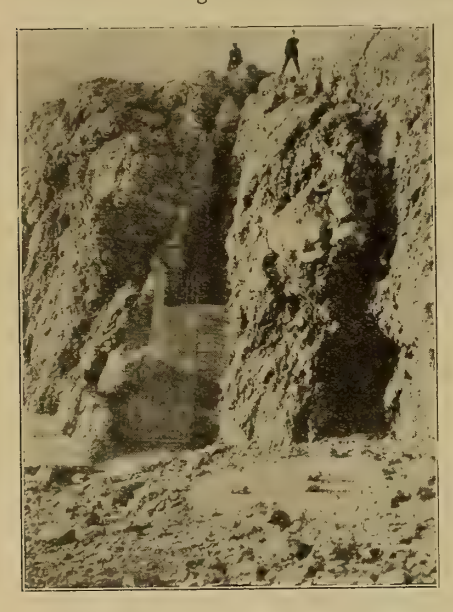
Die Aufstellung eines selbstregistrierenden Flutmessers auf der fast in der Mitte der Adria gelegenen Insel Pelagosa war schon bei der mehrfach erwähnten ersten Zusammenkunft österreichischer und italienischer Ozeanographen und Biologen im Mai 1910 angeregt und dann bei der ersten Konferenz der

genannten österreichisch-italienischen Kommission zur Erforschung der Adria in Monaco (Mai 1911) zum Beschluß erhoben worden.

Gelegentlich der noch im selben Jahr stattgehabten Sommerterminfahrt mit S. M. Schiff »Najade« wurde Pelagosa besucht und kommissionell erhoben, daß eine Brandungsnische in der kleinen Bucht Stara vlaka am Westrande der Insel den günstigsten Punkt für die Vornahme von Flutregistrierungen abgeben dürfte. Zum Schutze des Flutmessers gegen Seegang mußte aber die Aufführung einer soliden Schutzmauer am Eingang der Brandungsnische und die Ausbaggerung eines Wasserzuflußkanales ins Auge gefaßt werden.

Nachdem über Einladung seitens der Adriakommission sich die k. k. Seebehörde in Triest in munifizenter Weise bereit erklärt hatte, die zur Aufstellung des Flutmessers erforderlichen Bauarbeiten zu übernehmen und auch ihre Kosten zu tragen, sind im Jahre 1912 die folgenden Bauten ausgeführt worden:

Fig. 13.



1. Die Errichtung einer 3·9 *m* hohen und 2 *m* dicken Schutzmauer am Eingang der Brandungsnische;

2. die Anbringung eines 1·4 *m* hohen Betonschachtes an der Rückseite der Schutzmauer mit einer Ausnehmung von 0·25 *m* zur Lagerung des Holzschachtes vom Flutpegel;

3. die Ausbaggerung eines 6 *m* langen Zuflußkanales vom Betonschacht zum Ufer in einer Tiefe von 0·8 *m* unter dem Mittelwasser;

4. die Anbringung einer Stiege an der Vorderseite der Schutzmauer und eines Geländes auf ihrer Plattform und

5. die Befestigung einer Eisentreppe samt Geländer auf der Vorderseite des 10 *m* hohen Felsens bei der Brandungsnische, um auch bei schwerem Seegange zum Flutmesser gelangen zu können.

Fig. 13 zeigt die von der k. k. Seebehörde bewirkten Schutzbauten; der auf der Plattform stehende Flutmesser ist wegen mangelhafter Belichtung nicht zu erkennen.

Die Aufstellung des Flutautographen bewirkte der Verfasser am 14. und 15. Februar 1913 unter Mithilfe des Leuchtturmpersonales, das dann die Betreuung des Apparates übernahm.

In der Folge zeigte es sich, daß nicht nur der Wasserzuflußkanal etwa um 50 *cm* zu wenig tief ausgebaggert, sondern auch, daß sein Durchschnitt zu groß war, weil bei Seegang das Wasser durch den Druck der Brandung zu lebhaft im Kanal hin- und herflutete, wodurch sehr heftige und rasche Vertikalbewegungen des Schwimmers hervorgerufen wurden. Abgesehen davon, daß sich hierdurch die Registrierlinien auch schon bei ganz mäßigem Seegange zu einem Bande verbreiterten, wurde durch die stoßweisen Bewegungen des Schwimmers auch die Festigkeit seines Aufhängedrahtes stark in Anspruch genommen und ist am 13. April zum erstenmal der Schwimmerdraht gerissen; es gelang jedoch dem Leuchtturmassistenten den Apparat bis zum 24. April wieder in Betrieb zu setzen.

Am 7. Mai wurde dann der Apparat bei schwerem Sciroccosturm neuerdings havariert, der Schwimmer war gesunken und konnte er ohne Abmontierung des Holzschachtes nicht aufgeholt werden. Es machte sich daher eine Neuaufstellung des Flutmessers notwendig, die am 27. Mai vom Verfasser gelegentlich des Besuches von Pelagosa mit S. M. Schiff »Najade« während der Maiterminfahrt bewirkt wurde.

Bis zum 20. Februar 1914, an welchem Tage das Uhrwerk in Unordnung geriet, funktionierte dann der Apparat anstandslos; es mußte dann das Uhrwerk ausgewechselt werden und entstand dadurch eine Unterbrechung von 20 Tagen.

Am 19. September 1914 brachen die Aufzeichnungen ab, nachdem der Flutmesser gelegentlich der Landung französischer Matrosen in mutwilliger Weise zerstört worden war und konnte dann wegen des Kriegszustandes mit Italien nicht mehr an die Wiederaufstellung des Apparates gedacht werden.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß bereits im Juni 1904 Generalmajor von Sterneck einen selbstregistrierenden Flutpegel in einer Bretterhütte in der Bucht Stara vlaka aufgestellt hatte. Es war jedoch dabei auf den Seegang zu wenig Rücksicht genommen und ist auch am 26. August desselben Jahres sowohl die Hütte als auch der Apparat weggeschwemmt worden.

Die harmonische Analyse erstreckte sich wie in Comisa auf sämtliche sechs Haupttiden. Es ergaben sich die Gleichungen:

Tide *M*

$$h_M = 0{\cdot}63 \sin(336^\circ 5 + x) + 8{\cdot}16 \sin(93^\circ 6 + 2x)$$

Tide *N*

$$h_N = 0{\cdot}21 \sin(288^\circ 5 + x) + 1{\cdot}53 \sin(149^\circ 6 + 2x)$$

Tide *O*

$$h_O = 2{\cdot}54 \sin(263^\circ 9 + x) + 0{\cdot}11 \sin(247^\circ 5 + 2x)$$

Tide *S*

$$h_S = 1{\cdot}21 \sin(172^\circ 3 + x) + 5{\cdot}60 \sin(331^\circ 8 + 2x)$$

Tide *P*

$$h_P = 2{\cdot}32 \sin(165^\circ 2 + x) + 0{\cdot}66 \sin(317^\circ 2 + 2x)$$

Tide *K*[1]

$$h_K = 6{\cdot}80 \sin(254^\circ 3 + x) + 1{\cdot}69 \sin(277^\circ 9 + 2x)$$

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude *H* in *cm*	5·60	8·58	1·61	1·69	6·14	2·33	2·16
Kappazahl ϰ (M. O. Z.)	118°2	106°9	108°1	104°8	72°0	48°9	60°0

Hafenzeit = $3^h\ 47^m$ M. O. Z.

Die Amplituden der Partialwellen zeigen bei dieser landfernen Insel im Vergleich zu der in geographischer Breite am nächsten liegenden Festlandstation Ragusa nur geringe Unterschiede. Die Amplituden der Halbtagsgezeiten sind etwas kleiner, jene der ganztägigen Wellen im gleichen Maße größer, die Verhältniszahl $M_2 : S_2$ ist um ein geringes kleiner als für Ragusa, dasselbe gilt auch im allgemeinen von den Kappazahlen. Nur von K_2 wurde ϰ verhältnismäßig klein, von *O* dagegen relativ groß gefunden.

[1] Wegen der Lücken in den Registrierungen wurde Tide *K* aus zwei Perioden von 183 Tagen gerechnet und das Mitte der erhaltenen Konstanten für K_1 und K_2 genommen.

Als mittlere Fluthöhe ergab sich aus der 12-monatlichen Beobachtungsperiode 30 *cm*, für die Springfluten im Mittel 40 *cm* und für die Nippfluten 16 *cm*, also fast dieselben Beträge wie für Ragusa.

Bei Voll- und Neumond treten die größten Hochwasser im Juli (erstes Hochwasser) und im Jänner (zweites Hochwasser), somit etwas später als in Comisa und Ragusa auf, die größten Niedrigwasser fallen wie in Ragusa auf den September (erstes Niedrigwasser) und März (zweites Niedrigwasser) und beträgt der maximale Hochstand bei Springfluten in Erdnähe des Mondes 25 *cm* und die tiefste Depression des Wasserspiegels bei Niedrigwasser 19 *cm*, daher eine Ungleichheit von 7 *cm* zustande kommt. Gleiche Syzygialhochwasser haben wir bei Pelagosa anfangs April und anfangs Oktober, gleich tiefe Niedrigwasser anfangs Juli und anfangs Jänner, also annähernd wieder die selben Verhältnisse wie in Ragusa. Die größten Fluthöhen — 43 *cm* — werden bei den Syzygien anfangs August und anfangs Februar beobachtet.

Nahe den Quadraturen kommen Eintagsfluten nur von Februar bis Mai und von August bis November gut zur Ausbildung, in den übrigen Monaten zeigen sich wegen der hier schon merklicheren Nippgezeit von $M_2 + S_2$ und der weiteren Abschwächung der K_1-Tide schwache sekundäre Extreme und liegt im Auftreten von Doppelschwingungen zur Zeit des ersten und letzten Mondviertels in den Monaten, die sich um die Solstitien gruppieren, ein Charakteristikum für die Flutkurven des südlichen Adriabeckens.

Bei den Nippgezeiten treten die größten Hochwasser — 8 *cm* — im Mai und November, die tiefsten Niedrigwasser — 10 *cm* — im Juni und Dezember auf. Wie im ganzen südlichen Adriabecken besitzen auch bei Pelagosa die Quadraturniedrigwasser eine etwas größere Amplitude als die Hochwasser.

Bezüglich der Verfrühung der Eintrittszeiten der Quadraturhoch- und Niedrigwasser sowie betreffs der abwechselnden Ausbildung eines der beiden Extreme beobachten wir in Pelagosa annähernd die gleichen Verhältnisse wie in Comisa und Ragusa.

Lokale Seichen sind in den Flutkurven von Pelagosa nicht zu erkennen.

Ragusa.

$\varphi = 42° \, 38'4$ N; $\lambda = 18° \, 6'8$ E. v. Gr.

Flutmesser: Selbstregistrierender Flutmesser vom k. u. k. Militärgeographischen Institute.

Aufstellungsort: Steinpfeiler neben der Landungstreppe zum k. k. Hafen- und Seesanitätskapitanat.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 1. Jänner 1909 bis 5. Jänner 1910.

Seit Oktober 1902 ist im Innenhafen von Ragusa ein selbstregistrierender Flutmesser in Tätigkeit. Seine Aufstellung geschah durch das k. u. k. Militärgeographische Institut, um einen Kontrollpunkt für das Präzisionsnivellement in Dalmatien und dem Okkupationsgebiete zu schaffen. Die Beschreibung des Mareographen, der in der mechanischen Werkstätte des k. u. k. Militärgeographischen Instituts konstruiert worden war, ist im XXII. Bande der Mitteilungen vom k. u. k. Militärgeographischen Institute enthalten und sind auch in der gleichen Zeitschrift die stündlichen Angaben dieses Flutmessers veröffentlicht worden.

Während anfänglich nur eine Registrierung bis Ende 1909 geplant war, ist auf Initiative des für die Wissenschaft so hochverdienten Generalmajors Dr. Robert v. Sterneck der Flutpegel noch weiter im Betrieb belassen worden. Zu Beginn 1914 wurde er vom Hydrographischen Amte in Pola übernommen und gelangte auch der Jahrgang 1914 der stündlichen Aufzeichnungen bereits im Jahrbuch der meteorologischen, erdmagnetischen und seismischen Beobachtungen, XIX. Band, Beobachtungen

des Jahres 1914, zur Veröffentlichung. Bei einem SE-Sturm am 5. Februar des Jahres 1915 ist nun leider am Apparat eine Havarie eingetreten und mußte seither mit Rücksicht auf die Kriegsverhältnisse die Registrierung eingestellt werden.

Die harmonische Analyse des Jahrganges 1909, der ganz lückenlos ist, wurde vom Verfasser bewirkt und sind ihre Ergebnisse in gleicher Weise wie für Pola in den »Mitteilungen aus dem Gebiete des Seewesens, Heft VI, 1912« besprochen worden.

Es wurde die Analyse auf sämtliche sechs Haupttiden ausgedehnt und resultierten die Gleichungen:

Tide M

$$h_M = 0\cdot 39 \sin(211^\circ 4 + x) + 9\cdot 10 \sin(111^\circ 5 + 2x)$$

Tide N

$$h_N = 0\cdot 14 \sin(112^\circ 3 + x) + 1\cdot 45 \sin(70^\circ 4 + 2x)$$

Tide O

$$h_O = 2\cdot 00 \sin(355^\circ 0 + x) + 0\cdot 12 \sin(27^\circ 4 + 2x)$$

Tide S

$$h_S = 0\cdot 21 \sin(68^\circ 1 + x) + 5\cdot 80 \sin(336^\circ 4 + 2x)$$

Tide P

$$h_P = 1\cdot 74 \sin(201^\circ 9 + x) + 0\cdot 27 \sin(337^\circ 8 + 2x)$$

Tide K

$$h_K = 5\cdot 29 \sin(210^\circ 8 + x) + 1\cdot 78 \sin(163^\circ 9 + 2x)$$

und daraus die

Flutkonstanten:

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude H in *cm*	5·80	9·29	1·48	1·65	5·08	1·74	2·14
Kappazahl $\varkappa$ (M. O. Z.)	113°6	109°9	97°8	110°3	61°6	57°6	47°6

Hafenzeit = $3^h\ 47^m$ M. O. Z.

Ragusa ist die südlichste Station im Adriatischen Meere, für die sämtliche noch in Betracht zu ziehenden Partialwellen mittels der harmonischen Analyse abgeleitet worden sind und sollen hier die Beziehungen der Flutkonstanten sowohl zueinander als auch zu jenen der nördlichen Stationen näher besprochen werden. Was zunächst die Amplitude der Partialwellen betrifft, so ergibt sich aus obenstehender Tabelle, daß $H_{M_2} + H_{S_2}$ dreimal so groß ausfällt als H_{K_1}, welcher Betrag in Triest nur mit 2·4 gefunden wurde, während bei Punte Bianche H_{K_1} die Summe $H_{M_2} + H_{S_2}$ erheblich überragt. Es nähern sich daher die Gezeitenverhältnisse von Ragusa noch mehr dem Halbtagstypus

als dies in Triest der Fall ist. Das Verhältnis $M_2 : S_2$ ist im Vergleich zur mittleren Adria etwas größer geworden und differiert sein Wert 1·60 nur wenig von jenem für Triest.

Die absoluten Beträge der Amplituden sind relativ klein und erreicht nicht einmal H_{M_2} einen Dezimeter; die Hubhöhen der Halbtagstiden haben sich zwar im Vergleich zu Punte Bianche verdoppelt, dafür sind aber jene der ganztägigen Wellen in stärkerem Maße kleiner geworden, so daß für Ragusa eine noch kleinere mittlere Fluthöhe resultiert als für Punte Bianche. Für die ganze Region Sebenico—Ragusa sind übrigens die mittleren Fluthöhen fast als konstant zu bezeichnen.

Die Kappazahlen der Halbtagsgezeiten haben in Ragusa den kleinsten Wert erreicht, von Comisa angefangen hat sich jedoch die im Bereiche der mittleren Adria sehr rasche Abnahme — auf der Strecke Punte Bianche — Sestrice betrug sie 2° pro Seemeile — auf 0°05 pro Seemeile vermindert.

Bei den ganztägigen Tiden bemerken wir — die ganze Adria in Betracht gezogen — eine nur geringe, anscheinend durch lokale Verhältnisse gestörte Abnahme der Kappazahlen; in Ragusa ist ihr Mittelwert nur um 11° kleiner als jener von Pola.

Die Halbtagstiden zeigen somit sowohl bezüglich der Amplituden als auch betreffs der Kappazahlen ganz verschiedene Änderungen als die ganztägigen Wellen, wenn man die Adria von Nord nach Süd durchschreitet und müssen diese Unterschiede Verschiebungen der beiden Wellengruppen, der halbtägigen und der ganztägigen Tiden gegeneinander hervorrufen, sich daher in der südlichen Adria der Gezeitenablauf zur gleichen Jahreszeit anders gestalten muß als im Norden. Um diese jahreszeitlichen Verschiedenheiten in den Flutverhältnissen augenfällig zu machen, wollen wir wieder auf die Einzeltiden zurückgehen und ein Koinzidenzschema wie in Pola aufstellen. Hierbei das auf p. 194 erläuterte Verfahren angewendet, erhalten wir:

Es koinzidieren:

M_2	und	S_2	bei Voll- und Neumond.
M_2	»	N	im Perigäum.
K_2	»	S_2	bei den Äquinoktien.
K_2	»	M_2	bei $s = 0° = 180°$; $\delta_☾ = 0°$.
O	»	M_2	Hochwasser bei $s = 97° = 277°$; $\delta_☾$ max. Niedrigwasser bei $s = 187° = 7°$; $\delta_☾$ nahe an 0°.
P	»	S_2	Hochwasser bei den Solstitien. Niedrigwasser bei den Äquinoktien und zwar beim Frühlingsäquinok. mit dem ersten, beim Herbstäquinok. mit dem zweiten Niedrigwasser von S_2.
K_1	»	S_2	Hochwasser bei den Solstitien. Niedrigwasser bei den Äquinoktien und zwar beim Frühlingsäquinok. mit dem zweiten, beim Herbstäquinok. mit dem ersten Niedrigwasser von S_2.
K_1	»	M_2	Hochwasser bei $s = 97° = 277°$; $\delta_☾$ max. Niedrigwasser bei $s = 187° = 7°$; $\delta_☾$ nahe an 0°.
P	»	O	bei den Syzygien.
K_1	»	P	bei den Solstitien.
K_1	»	O	bei $s = 97° = 277°$; $\delta_☾$ max.

Aus diesem Schema ist zu ersehen, daß die Konzidenzen von P und S_2, K_1 und S_2, O und M_2 und K_1 und M_2 zu wesentlich anderen Zeiten, beziehungsweise anderen Deklinationswerten des Mondes eintreten als in Pola, sich daher der Aufbau der Flutkurven auch anders gestalten muß als im Norden.

Zunächst ergibt sich, daß die größten Syzygialhochwasser in der Nähe der Solstitien auftreten müssen, weil dann sämtliche Partialwellen mit Ausnahme von K_2 (Äquinoktialflut) bei einem der Hochwasser im selben Sinne wirken. Es erreicht dann zum Beispiel anfangs Juli das erste Hochwasser die Höhe von 22 *cm* und wenn sich der Mond in Erdnähe befindet, steigt das Wasser bis 24 *cm* über das mittlere Niveau. Das zweite Hochwasser weist hingegen nur eine Amplitude von 6 *cm* auf, da hier alle Wellen dem Ansteigen des Wassers entgegenwirken. Es kommt also zu einer großen täglichen Ungleichheit (18 *cm*), während die Eintrittszeiten der Hochwasser gegen die Kulmination der $M_2 + S_2$-Tiden keine wesentlichen Änderungen aufweisen. Ganz die gleichen Erscheinungen beobachten wir bei den Syzygialfluten nahe dem Wintersolstitium, nur sind dann die Begriffe erstes und zweites Hochwasser zu vertauschen.

Fig. 14.

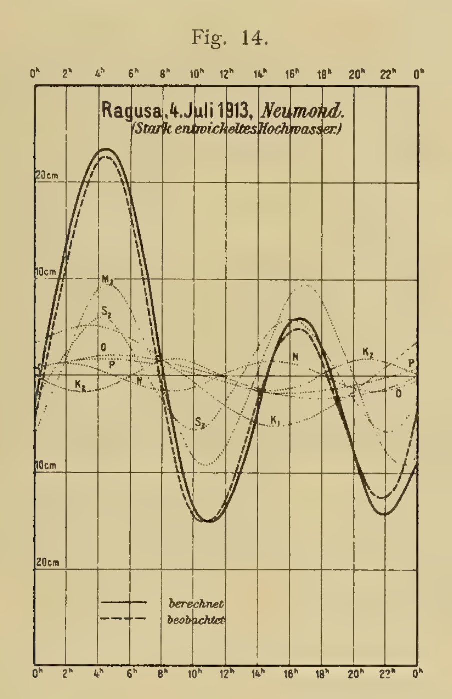
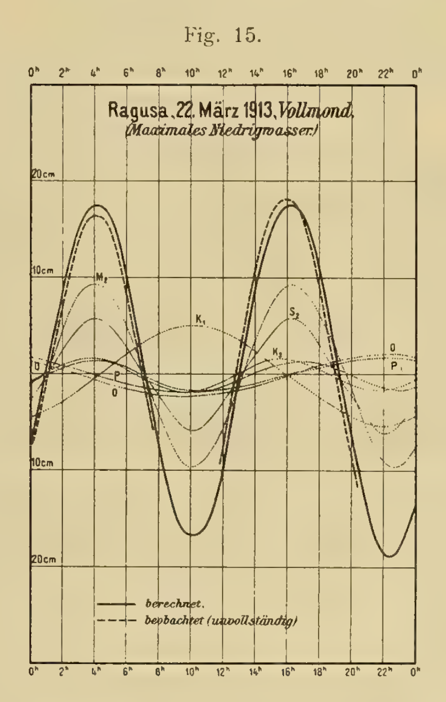


Fig. 15.



In Fig. 14 sind die durch Synthese erhaltenen und die beobachteten Flutkurven vom 4. Juli 1913 abgebildet. Da der Mond erst am 6. Juli in die Erdnähe gelangt, trägt N noch nicht im vollen Maße zur Vergrößerung des Hochwassers bei und beträgt daher der maximale Hochstand nur 23·2 *cm* (gerechnet).

Die Syzygialniedrigwasser sind bei den Solstitien nahezu gleich, da bei den Tiefständen von $M_2 + S_2$ die ganztägigen Wellen nur kleine Ordinaten besitzen und sich zum größten Teil aufheben. Die Eintrittszeiten der Niedrigwasser werden aber beim Sommersolstitium um etwa $1^1/_2$ Stunden genähert (beim Wintersolstitium entfernt), weil die negativen Ordinaten der Eintagstiden bei dem einen Tiefwasser auf den aufsteigenden, beim andern auf den absteigenden Ast der Flutkurve einwirken.

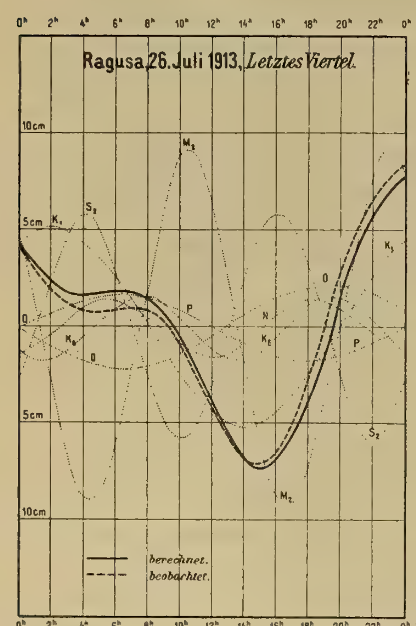
Nahe den Äquinoktien sind wegen der wenig differierenden Kappazahlen die ganztägigen Tiden derart angeordnet, daß sich ihre Wirkungen betreffs der Hochwasser aufheben, wir haben dann gleiche Syzygialhochwasser und wird die Halbtagsgezeit $M_2 + S_2$ noch durch die bei den Äquinoktien günstig wirkende K_2-Tide verstärkt; der Abstand der Eintrittszeiten der Hochwasser erfährt keine merkliche Verschiebung. Was die Niedrigwasser betrifft, so wird nahe dem Frühjahrsäquinoktium, wie aus vorstehendem Koinzidenzschema ersichtlich, die K_1-Tide mit dem zweiten, hingegen die $P + O$-Tiden,

die bei den Syzygien zusammenfallen, mit dem ersten Niedrigwasser von $M_2 + S_2$ koinzidieren. (Fig. 15.) Das erste Niedrigwasser wird somit um die Differenz $K_1 - (P + O)$ abgeschwächt, das zweite um diesen Betrag vertieft und muß wegen $K_1 > P + O$ noch eine tägliche Ungleichheit von 2·4 *cm* zustande kommen, daher das zweite Niedrigwasser um diesen Betrag stärker entwickelt ist. Der größte Tiefstand, der bei Niedrigwasser vorkommen kann, beträgt aber nur 19 *cm*, während die größten Hochwasser nahe den Solstitien 24 *cm* erreichen können und ergibt sich, daß in Ragusa und überhaupt südwärts von Punte Bianche in der Adria im Gegensatz zum nördlichen Becken die Maximalhochwasser größere Elevationen aufweisen müssen als die Depressionen des Wasserspiegels bei tiefster Ebbe ausmachen. Wie wir gesehen haben, ist diese Ungleichheit am größten in Pelagosa, wo sie 7 *cm* erreicht.

Die größten Fluthöhen kommen in Ragusa zustande, wenn die Syzygien anfangs Februar oder anfangs August eintreten, es wird dann bei Mond in Erdnähe eine Niveauschwankung von 41·5 *cm* beobachtet.

Nahe den Quadraturen weisen die Flutkurven von Ragusa zumeist auch nur ein Hochwasser und ein Niedrigwasser auf. Gut ausgeprägte Eintagsfluten kommen aber bei den Mondvierteln nur in den Monaten Februar bis April und Juli bis September zur Aufzeichnung, während sonst flache, sekundäre Maxima und Minima zu erkennen sind und die Kurven dann in unregelmäßigen Doppelschwingungen verlaufen. Das Auftreten dieser sekundären Extreme bildet eine Charakteristik für die südliche Region.

Fig. 16.



Beim Frühlingsäquinoktium, zu welcher Zeit die K_1-Tide die Mittelwasserlinie um 4^h schneidet und die Resultierende von K_1 und K_2 nahezu gleichzeitig mit dem ersten Hochwasser der Nippflut $M_2 + S_2$ kulminiert, ist nur ein Hoch- und ein Niedrigwasser zu erkennen; ersteres tritt gegen 11^h, letzteres gegen 19^h ein. Die Kurve hat vollständig den Charakter einer Eintagstide und ist die Amplitude des Hoch- und Niedrigwassers im Vergleich zu $M_2 + S_2$ noch einmal so groß (7 *cm*). Ende April erreicht das erste Hochwasser seinen Höchstbetrag, 8 *cm*, gleichzeitig ist um $1^1/_2{}^h$ ein zweites Hochwasser schwach angedeutet. Während sich nun das erste Hochwasser immer mehr abschwächt, wächst das zweite Hochwasser rasch und verflacht sich ersteres zur Zeit des Sommersolstitiums gänzlich, nachdem seine Eintrittszeit bis $9^1/_2{}^h$ zurückgegangen war. Das zweite nun dominierende Hochwasser erhält sich bis Oktober bei $23^1/_2{}^h$, in welchem Monat es auch die stärkste Entwicklung, 9 *cm*, zeigt. Im Oktober tritt aber schon gegen 13^h ein schwaches sekundäres (erstes) Hochwasser auf und bekommt letzteres bereits Ende November die Oberhand, seine Eintrittszeit bis zum Frühjahrsäquinoktium bis auf 11^h verfrühend.

Bei den Niedrigwassern findet ein Wechsel nahe den Äquinoktien statt und zwar derart, daß von Ende März bis Ende August das zweite, von Anfang September bis März das erste Niedrigwasser das stärkere ist. Das erste Niedrigwasser hat bei seinem Auftreten im September die Kulminationszeit 8^h, im Dezember nahe dem Wintersolstitium wird der größte Tiefstand mit 10 *cm* beobachtet. Ende Februar hat sich seine Eintrittszeit auf 1^h verfrüht und verflacht sich dann der negative Ast der Kurve. Das zweite, Ende März zur Entwicklung gelangende Niedrigwasser kulminiert gegen 19^h, im Juni ist seine Amplitude am größten, 11 *cm*, und nach Rückwanderung der Eintrittszeit bis $14^1/_2{}^h$ beobachten wir im September den Übergang zum ersten Niedrigwasser. Im Mai und Juni, dann im Oktober und November sind noch schwach entwickelte sekundäre Extreme des Niedrigwassers zu erkennen.

Zur Zeit der Mondvierteln werden somit die größten Hochwasser Ende April und Ende Oktober, also etwas später wie in Comisa, die größten Niedrigwasser aber zur gleichen Zeit, nämlich nahe den Solstitien beobachtet. Von Anfang Dezember bis Anfang Juni ist das erste Hochwasser, von Ende Juni bis Ende November das zweite Hochwasser das dominierende; von den Niedrigwassern hat von Anfang September bis Anfang März das erste und von März bis Ende August das zweite die Oberhand.

Fig. 16 stellt die Nippflut am 26. Juli 1913 beim letzten Viertel dar. Wir sehen, daß die beobachtete Flutkurve selbst die schwache Ausbiegung von $2-8^h$ wiedergibt, die von der berechneten Flutkurve zu dieser Zeit angedeutet wird.

Aus dem für die Analyse verwendeten Jahrgang 1909 resultiert als mittlere Fluthöhe 31 *cm*. Für die Springgezeiten wurde die mittlere Wasserschwankung mit 38 *cm* und für die Nippflut mit 18 *cm* gefunden.

Um für die Station Ragusa das Alter der Flut zu ermitteln, gehen wir auf die Gleichung

$$\varkappa_{S_2} - \varkappa_{M_2} = 2\ (s-h)$$

zurück. (p. 19.) Die aus der Analyse bekannten Werte von $\varkappa_{S_2}$ und $\varkappa_{M_2}$ eingesetzt und $\nu = \xi = 0$ angenommen, geht obige Gleichung über in

$$s-h = 1^\circ 85 = 181^\circ 85.$$

Wenn wir uns weiter daran erinnern, daß die Änderung der Länge der Sonne auf ihrer Bahn in der Ekliptik 0°04 für die Stunde, jene des Mondes 0°55, somit die Differenz 0°51 ausmachen, so erhalten wir das Alter der Flut

$$\frac{-1\cdot 85}{0\cdot 51} = 3^h 6,$$

das heißt die Springflut fällt auf den Tag des Voll- oder Neumondes, das Alter der Flut ist auch für die südliche Adria = 0.

Auch die Monatsmittel der Fluthöhen zeigen in Ragusa den gleichen jährlichen Gang wie jene von Pola, wenn derselbe mit Rücksicht auf den kleinen Betrag von $K_1 - (P + O) = 1\cdot 2$ *cm* auch weniger gut ausgeprägt ist als in der Nordadria.

Aus dem Beobachtungsjahr haben wir für die einzelnen Monate die folgenden Mittelwerte in *cm*:

Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
29·5	28·9	28·7	27·4*	28·1	28·8	28·5	**29·6**	28·7*	28·8	28·8	29·4

Daraus ergibt sich, daß an der ganzen heimischen Küste zur Zeit der Solstitien die größten und zur Zeit der Äquinoktien die kleinsten Monatsmittel der Fluthöhen zu erwarten sind. Die Erklärung für diese Erscheinung wurde auf p. 25 gegeben.

Niveauschwankungen infolge meteorologischer Einflüsse. Die lebhaften Schwankungen, die wir in Pola im Mittelwasser aufeinanderfolgender Tage und zwar besonders häufig im Winter beobachten, zeigen sich auch in den Aufzeichnungen von Ragusa und hat zuerst Generalmajor v. Sterneck darauf hingewiesen, daß diese Schwankungen in der ganzen Adria recht gleichmäßig vor sich gehen, indem die mittleren Wasserstände größerer Zeiträume (Monatsmittel) für verschiedene Punkte an der Küste nahezu die gleichen Differenzen gegen das Jahresmittel aufweisen, das heißt Hebungen und Senkungen des Wasserspiegels in gleicher Größe und in gleichem Sinne stattfinden. Es ist auch bekannt, daß diese auf das ganze Becken sich erstreckenden Niveauschwankungen in erster Linie auf die Luftdruckdifferenzen über dem Adriatischen

und Mittelländischen Meere zurückzuführen sind, indem bei hohem Drucke über dem Mittelländischen Meer das Wasser in der Adria steigen muß, hingegen bei nach S abnehmendem Druck eine Erniedrigung des Wasserstandes im Adriatischen Becken eintreten wird. Der Wind wirkt hierbei im gleichen Sinne wie der Gradient: bei einem Druckgefälle von SE gegen NW wehen in der ganzen Adria Sciroccalwinde und wird dadurch die Wasseraufstauung begünstigt, während bei einem nach SE gerichteten Gradienten NE—NW-Winde vorherrschen, die den Wasserabfluß nach S und damit eine Depression des Adriatischen Wasserspiegels unterstützen.

Vergleicht man, wie in untenstehender Tabelle, die Differenzen der Monatsmittel gegen das Jahresmittel für Pola und Ragusa, so ist der simultane Charakter der Hebungen und Senkungen deutlich zu erkennen, gleichwohl sind Unterschiede vorhanden, die dann auftreten, wenn sich im Adriagebiete zyklonale Windsysteme ausbilden, das heißt, wenn im Norden stürmische Bora weht, während südlich von Lissa frischer Scirocco vorherrscht. Es kann sich dann die im S stattfindende Wasserstauung nicht nach N fortpflanzen, weil die dort ablandigen Winde das Wasser wieder gegen S zurückdrängen.

Differenzen der Monatsmittel gegen das Jahresmittel von 1909 in *cm*:

	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Pola	—10·4	—5·5	+11·4	—8·5	—8·8	—3·8	—1·8	—0·4	+0·6	—0·3	+13·5.	+13·4
Ragusa	— 5·7	—3·7	+11·2	—7·6	—5·8	—6·0	—4·7	—2·1	+0·4	—1·6	+15·0	+11·0

Stärkere Hebungen von 30 bis 40 *cm* beobachtet man in Ragusa, sobald ein gut ausgebildetes barometrisches Minimum über der nördlichen oder mittleren Adria liegt, wobei im S frische SE—SW-Winde wehen. Steht dagegen die Witterung des Kontinents unter der Herrschaft einer Antizyklone über Zentraleuropa und nimmt der Luftdruck rasch gegen S ab, so treten auch in Ragusa Depressionen des Wasserspiegels von 20 bis 25 *cm* ein, die namentlich bei frischem NE-Wind sich gut ausbilden. Im allgemeinen sind diese Niveauschwankungen etwas kleiner als im Norden, obzwar auch in Ragusa größere Elevationen vorkommen können als in Pola, wie zum Beispiel am 29. Dezember 1908, an welchem Tage in Ragusa bei SE-Wind in der Stärke 6 das Mittelwasser einen Anstieg von 36 *cm* zeigte, während in Pola bei zyklonaler Bora nur ein solcher von 17 *cm* beobachtet wurde.

In der Tabelle auf Seite 26 sind einige typische Fälle zusammengestellt, die eine gute Übereinstimmung der Wetterlage und der Niveauschwankungen zeigen.

Aus der Beobachtungsreihe 1903 bis 1909 ergibt sich folgender jährlicher Gang in den Schwankungen des Wasserspiegels (Differenzen der Monatsmittel gegen das Gesamtmittel 31·4) in *cm*:

Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
— 4·8	— 3·3	— 1·0	— 0·8	— 1·7	+ 0·2	— 3·5	— 2·6	— 3·1	+ 3·9	+ 8·8	+ 9·6

Diese Differenzen sind noch vom Einflusse des Luftdruckes zu korrigieren; hierzu benutzen wir die mittleren Abweichungen des Luftdruckes vom Jahresmittel (aus der Beobachtungsreihe 1893 bis 1902), die mit 13·2 zu multiplizieren sind, weil das Quecksilber 13·2 mal schwerer ist als das Wasser.

Die mittleren Abweichungen des Luftdruckes in Millimetern wurden gefunden mit:

Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
+ 0·9	+ 0·3	— 1·2	+ 0·8	— 1·4	— 0·6	— 1·1	— 0·4	+ 1·2	+ 0·9	+ 1·8	+ 0·4

Diese Zahlen mit 13·2 multipliziert und mit ihrem Zeichen an die obigen Werte angebracht, erhalten wir folgende vom Einfluß des Luftdruckes befreite Reihe für die Differenzen der Monatsmittel gegen den mittleren Wasserstand in Zentimetern:

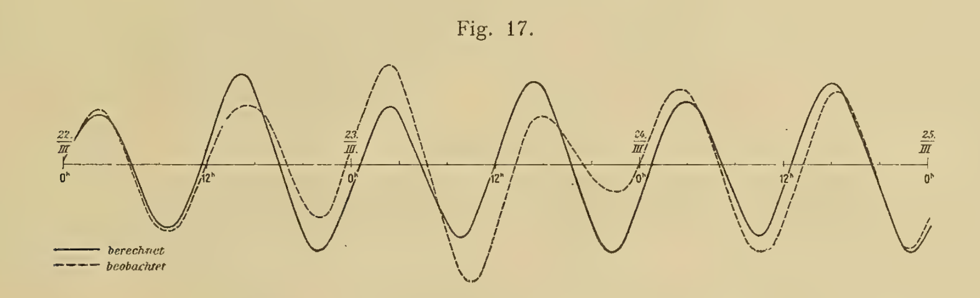
Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
— 3·6	— 2·9	— 2·6	— 1·9	— 3·5	— 1·6	— 5·0	— 3·1	— 1·5	+ 5·1	+ 11·2	+ 10·1

Die größten positiven Abweichungen hat der November und Dezember, das sind die Monate, in denen die Sciroccowinde in der südlichen Adria die größte Frequenz aufweisen. Merkliche Depressionen finden wir im Jänner und dann im Juli und August. Im Jänner sind es die Bora, in den Sommermonaten die zu dieser Zeit in den Morgenstunden frischen Landwinde aus NE, welche das Küstenwasser gegen die hohe See abdrängen, was sich auch aus den kühlen Temperaturen des an solchen Tagen an die Oberfläche emporsteigenden Tiefenwassers kund gibt.

Es erübrigt noch zu untersuchen, ob sich auch in den Flutaufzeichnungen von Ragusa das Vorhandensein jener langperiodischen stationären Wellen (Seichen) nachweisen läßt, deren Auftreten bei stürmischen Sciroccowetter ich durch Vergleich der theoretischen und der in Pola wirklich registrierten Flutkurven aufgefunden hatte.

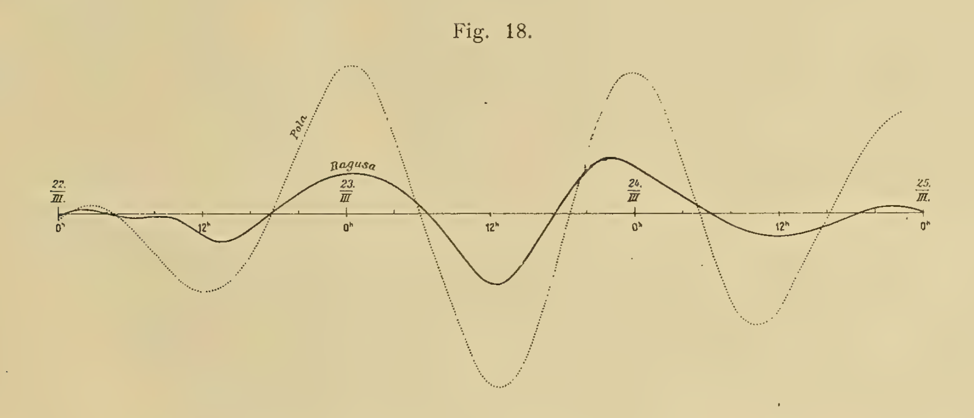
Ich benutzte für Ragusa wieder die Aufzeichnungen vom 22., 23. und 24. März 1906 und habe ich in gleicher Weise wie für Pola für diese drei Tage mittels der Flutkonstanten die in Fig. 17

Fig. 17.



dargestellten theoretischen Flutkurven berechnet. Die gestrichelte Flutkurve entspricht der tatsächlichen Registrierung, wobei Korrektionen wegen sukzessiver Hebung des Mittelwassers angebracht worden sind. Bildet man die Differenzen der Ordinaten, so resultieren die in Fig. 18 gezeichneten Wellen, die ebenfalls eine durchschnittliche Periode von 23 Stunden und eine Maximalamplitude von 15 *cm* aufweisen.

Fig. 18.



Wie man sich durch Vergleich mit der punktiert eingezeichneten Differenzkurve für die gleichen Tage von Pola überzeugen kann, ist der Verlauf beider Wellenlinien ein auffallend ähnlicher und treten die Extremwerte fast genau zur selben Zeit auf. Aus dem Zusammenfallen der Phasen können wir somit mit Sicherheit schließen, daß an den genannten Tagen in der Adria eine stehende Welle ausgebildet war mit einer Grundperiode von ungefähr 23 Stunden und einer Amplitude, die im Durchschnitte in Pola 32, in Ragusa 12 *cm* ausmachte.

Die Berechnung der halbmonatlichen + täglichen Ungleichheiten und der Hochwasserhöhen für Ragusa geschah nach der gleichen Methode wie für Pola (Tabelle IV u. V, p. 266 und 272).

Meljine (Golf von Cattaro).

$\varphi = 42° 27'2$ N; $\lambda = 18° 33'7$ E. v. Gr.

Flutmesser: Selbstregistrierender Flutmesser vom k. u. k. Hydrographischen Amte.

Aufstellungsort: Innenseite des Molo vom Bootshafen.

Beobachtungsperiode für die harmonische Analyse: 18. Jänner 1911 bis 20. Jänner 1912.

Die Flutaufzeichnungen geschahen zur Reduktion der Lotungen für die Aufnahmsarbeiten der Kriegsmarine im Golfe von Cattaro.

Die Aufstellung des Flutmessers hatte Korvettenkapitän Richard Bolhár von Nordenkampf bewirkt, die Bedienung des Apparates geschah durch die Hafenlotsen von Meljine.

Die harmonische Analyse wurde nur auf die Tiden M, S und K ausgedehnt, die übrigen Flutkonstanten ergaben sich mit Hilfe der für die Adria abgeleiteten Reduktionsformeln.

Tide M

$$h_M = 0\cdot24 \sin(179^\circ7 + x) + 8\cdot74 \sin(255^\circ4 + 2x)$$

Tide S

$$h_S = 0\cdot12 \sin(225^\circ1 + x) + 5\cdot90 \sin(333^\circ2 + 2x)$$

Tide K

$$h_K = 5\cdot45 \sin(232^\circ7 + x) + 2\cdot67 \sin(192^\circ7 + 2x)$$

Flutkonstanten.

Tide	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Amplitude H in *cm*	5·90	9·12	1·55	2·14	4·97	(1·5)	(1·6)
Kappazahl $\varkappa$ (M. O. Z.)	116°8	113°8	(114°)	121°1	59°5	(55°)	(51°)
Hafenzeit = $3^h\ 55^m$ M. O. Z.							

Da die Flutkonstanten von Meljine nur sehr wenig gegen die bezüglichen Werte von Ragusa differieren, sind die Gezeitenverhältnisse in beiden Hafenorten die gleichen. Die mittlere Fluthöhe beträgt 29 *cm*, die mittlere Niveauschwankung bei Springflut 42, bei Nippflut 16 *cm*. Die Grundschwingung der lokalen sehr regelmäßigen Seichen ist 32^m, eine Amplitude von 15 *cm* und darüber wird selten erreicht.

Zusammenfassung der Resultate.

Wenn auch von der italienischen Küste die Ergebnisse der durch die permanente internationale Kommission für die Erforschung der Adria angeregten Flutbeobachtungen noch ausständig sind und daher die Gezeitenforschung des Adriatischen Meeres noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden kann, so hat doch die harmonische Analyse der Flutregistrierungen von 14 Stationen des heimischen Küstengebietes für die Darstellung des Gezeitenphänomens so eingehende Daten geliefert, daß hierin kaum mehr eine wesentliche Erscheinung verborgen geblieben sein dürfte.

Das Hauptergebnis der vorliegenden Arbeit kann dahin zusammengefaßt werden, daß im Adriatischen Meere sich der Gezeitenablauf — von meteorologischen Störungen abgesehen — ganz nach den aus der Theorie bekannten Gesetzen vollzieht, daß die sieben Elementartiden M_2, S_2, N, K_2, K_1, P und O vollkommen ausreichen, um die Flutkurven mit einer sowohl für theoretische Untersuchungen als auch für die Praxis hinreichenden Genauigkeit zu berechnen und daß hierbei auch die im Laufe einer Mondperiode (18·6 Jahre) eintretenden Änderungen der Flutkonstanten vernachlässigt werden können.

Hierfür spricht zur Genüge die sehr befriedigende Übereinstimmung der für mehrere Hafenorte der heimischen Küste durch Synthese der sieben Elementartiden berechneten und der beobachteten Flutkurven. Die hie und da noch auftretenden Differenzen sind zum größten Teil durch stehende Schwingungen meteorologischen Ursprunges zu erklären, die, wie wir gesehen, in der Adria sehr leicht zur Ausbildung gelangen, sich daher die Schwankungen des Wasserspiegels bei stürmischem Wetter oft in ganz unkontrollierbarer Weise vollziehen können.

In den nachstehenden Tabellen A und B sind die Flutkonstanten, nämlich die mittleren Amplituden (H) und die Kappazahlen $(\varkappa)$, letztere auf mitteleuropäische Zeit reduziert, zusammengestellt, Tabelle C enthält die beobachteten mittleren Fluthöhen und die mittels der Flutkonstanten berechneten Amplituden bei den Syzygien und Quadraturen.[1]

Tabelle A.

Amplituten der Elementartiden (H) in *cm*.

Ort	Geographische Position	M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O	S_1	$\frac{M_2}{S_2}$	$\frac{K_1+O}{M_2+S_2}$
Triest	φ = 45° 38'9 N λ = 13° 45'5 E. v. Gr.	26·30	15·83	4·30	5·22	17·33	4·75	5·02	0·80	1·66	0·53
Pola	φ = 44° 51'8 N λ = 13° 50'8 E. v. Gr.	15·07	8·68	2·34	2·45	15·63	4·94	4·96	0·67	1·74	0·87
Fiume	φ = 45° 19'8 N λ = 14° 25'7 E. v. Gr.	10·38	5·67	1·92	1·73	13·99	4·29	3·96	1·34	1·83	1·12
Zengg	φ = 44° 59'6 N λ = 14° 54'0 E. v. Gr.	9·93	5·15	(1·7)	1·99	13·60	(4·2)	(4·4)	—	1·93	1·20
Hafen Cigale	φ = 44° 31'8 N λ = 14° 27'0 E. v. Gr.	8·50	4·36	1·45	2·43	15·52	(4·8)	(5·1)	—	1·95	1·61
Hafen Pantera	φ = 44° 9'3 N λ = 14° 49'9 E. v. Gr.	4·56	3·43	(0·8)	1·06	12·12	3·37	3·76	1·55	1·33	2·00
Zara	φ = 44° 7'1 N λ = 15° 13'6 E. v. Gr,	6·47	3·25	(1·1)	0·95	13·19	(4·1)	(4·3)	1·13	1·99	1·81
I. Sestrice	φ = 43° 51'3 N λ = 15° 12'4 E. v. Gr.	4·88	3·74	(0·8)	(1·2)	(11·5)	(3·6)	(3·8)	—	1·31	1·78
Sebenico	φ = 43° 43'3 N λ = 15° 51'4 E. v. Gr.	6·29	4·43	(1·1)	1·39	9·25	(2·9)	(3·0)	0·55	1·42	1·15
Rogoznica	φ = 43° 31'6 N λ = 15° 58'1 E. v. Gr.	6·59	4·65	(1·1)	(1·4)	8·98	(2·8)	(2·9)	—	1·42	1·06
Comisa	φ = 43° 2'7 N λ = 16° 5'3 E. v. Gr.	7·40	5·16	1·30	1·44	7·83	2·40	2·51	0·34	1·44	0·82
I. Pelagosa	φ = 42° 23'6 N λ = 16° 15'1 E. v. Gr.	8·58	5·60	1·61	1·69	6·14	2·33	2·16	1·21	1·53	0·58
Ragusa	φ = 42° 38'4 N λ = 18° 6'8 E. v. Gr.	9·29	5·80	1·48	1·65	5·08	1·74	2·14	0·21	1·60	0·48
Meljine	φ = 42° 27'2 N λ = 18° 33'7 E. v. Gr.	9·12	5·90	(1·6)	2·14	4·97	(1·5)	(1·6)	0·12	1·55	0·44
Venedig	φ = 45° 20'0 N λ = 12° 20'7 E. v. Gr.	22·26	12·54	—	3·98	17·14	—	—	—	1·78	—
Brindisi	φ = 40° 39'4 N λ = 17° 59'6 E. v. Gr.	8·21	5·24	—	1·82	4·43	—	—	—	1·57	

[1] Betreffs der unter Klammern ( ) stehenden Werte siehe letzten Absatz von p. 35.

Tabelle *B.*

Kappazahlen der Elementartiden reduziert auf mitteleuropäische Zeit.

Ort	Anzahl der Monate, auf die sich die Analyse erstreckte	Hafenzeit		M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O	S_1
		h	m								
Triest	12	9	30	276°2	283°4	285°2	278°5	69·0	73·2	56·8	40·2
Pola	12	9	10	266·7	273·1	274·0	271·3	69·1	70·1	63·3	33·5
Fiume	12	8	30	250·1	250·0	242·0	243·6	65·7	64·4	56·0	31·7
Zengg	6	8	13	242·8	238·5	(243)	229·3	65·5	(60)	(57)	—
Hafen Cigale	6	8	25	246·9	248·4	(247)	244·8	66·7	(62)	(58)	—
Hafen Pantera	12	6	55	195·6	204·4	(195)	197·3	60·0	51·0	67·9	8·3
Zara	12	7	54	232·2	235·0	(233)	228·2	68·0	(63)	(59)	41·3
I. Sestrice	5	5	4	153·9	143·1	(154)	(138)	(60)	(55)	(51)	—
Sebenico	12	4	35	136·6	132·0	(136)	127·4	57·2	(52)	(48)	29·5
Rogoznica	6	4	44	140·9	136·6	(141)	124·8	66·9	(62)	(58)	—
Comisa	12	3	51	108·4	119·3	110·9	115·6	57·2	51·4	41·0	23·5
I. Pelagosa	12	3	42	104·5	115·7	105·7	102·3	70·7	47·7	58·8	275·4
Ragusa	12	3	34	103·9	107·4	91·9	104·1	58·5	54·5	44·7	17·8
Meljine	12	3	41	106·9	109·7	(107)	114·0	55·9	(51)	(47)	221·3
Venedig	6	10	0	289·3	300·6	—	274·7	78·2	—	—	—
Brindisi	6	3	55	110·7	121·8	—	119·8	74·5	—	—	—

Tabelle *C.*

Fluthöhen in Zentimetern.

Ort	nach der Beobachtung Fluthöhen[1]			nach der Theorie				
				Amplituden bei den Syzygien		Amplituden bei den Quadraturen		größte Fluthöhe[1]
	im Mittel	bei den Syzygien	bei den Quadraturen	Hochwasser	Niedrigwasser	Hochwasser	Niedrigwasser	
				mit der *N*-Tide[2]		ohne der *N*-Tide[2]		
Triest	88	122	52	59	68	32	27	121
Pola	61	76	37	38	48	25	23	84
Fiume	47	63	32	33	39	20	20	65
Zengg	44	59	30	—	—	—	—	—
Hafen Cigale	43	56	30	30	37	22	21	64
Hafen Pantera	37	46	28	24	25	13	14	47
Zara	38	50	27	26	29	17	17	54

[1] Unter Fluthöhe ist der Abstand vom Niedrig- zum Hochwasser, unter Amplitude jener vom Mittelwasser verstanden.

[2] Da die elliptische Mondflut *(N)* nur bei den Syzygien stets zur Verstärkung der Amplitude beiträgt, sobald sich der Mond in Erdnähe befindet, ist bei den Amplituden der Quadraturen der hier wechselnde Einfluß der *N*-Tide unberücksichtigt geblieben.

Ort	nach der Beobachtung Fluthöhen [1]			nach der Theorie				
				Amplituden bei den Syzygien		Amplituden bei den Quadraturen		größte Fluthöhe [1]
	im Mittel	bei den Syzygien	bei den Quadraturen	Hochwasser	Niedrigwasser	Hochwasser	Niedrigwasser	
				mit der N-Tide [2]		ohne der N-Tide [2]		
Insel Sestrice	28	38	18	24	21	12	15	44
Sebenico	31	41	21	25	19	10	13	43
Rogoznica	30	42	18	—	—	—	—	—
Comisa	31	42	21	25	19	10	12	43
Insel Pelagosa	30	40	16	25	19	8	10	43
Ragusa	31	38	18	24	19	8	10	42
Meljine	29	42	16	—	—	—	—	—

[1] Unter Fluthöhe ist der Abstand vom Niedrig- zum Hochwasser, unter Amplitude jener vom Mittelwasser verstanden.

[2] Da die elliptische Mondflut (N) nur bei den Syzygien stets zur Verstärkung der Amplitude beiträgt, sobald sich der Mond in Erdnähe befindet, ist bei den Amplituden der Quadraturen der hier wechselnde Einfluß der N-Tide unberücksichtigt geblieben.

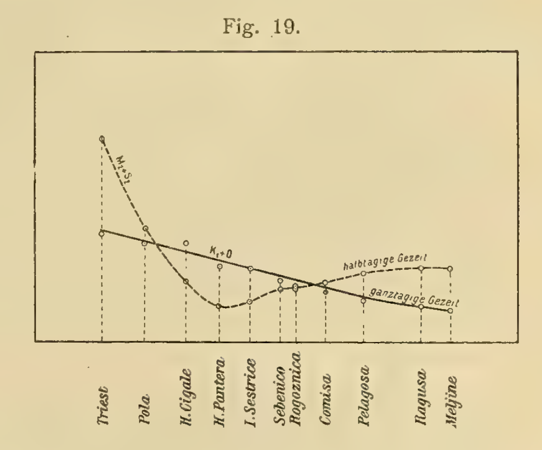
Die den Tabellen A und B angefügten Flutkonstanten für Venedig und Brindisi sind provisorische Werte, die durch Analyse der sich auf 6 Monate erstreckenden im »*Bollettino mareografico mensile 1914*« der italienischen Adriakommission veröffentlichten Aufzeichnungen abgeleitet wurden.

Vergleicht man die auffällig verschiedenen Änderungen, welche die Amplituden und Kappazahlen der halbtägigen und ganztägigen Wellen in der Richtung der Medianachse der Adria erfahren, so kommt man zu dem weiteren Ergebnis, daß sich die Halbtags- und ganztägigen Tiden wie zwei voneinander ganz unabhängige Wellensysteme verhalten, durch deren Interferenz die Gezeitenbewegung zustande kommt.

Zur besseren Übersicht wollen wir diese beiden Wellensysteme getrennt betrachten.

a) Halbtagsgezeiten. Wie aus Fig. 19 ersichtlich, sind die Amplituden der halbtägigen Wellen am größten im Golf von Triest; gegen Süd zu nehmen sie rasch bis zur Spitze Punte Bianche (Insel Grossa) ab, erreichen dort ihren kleinsten Betrag und findet dann weiter gegen Süd eine ziemlich langsame Zunahme statt, ohne daß im südlichen Adriabecken auch nur annähernd die großen Amplituden wie im Golf von Triest zur Ausbildung gelangen würden. Die Kappazahlen der Halbtagstiden sind von Süden kommend bis zur Insel Lissa nahezu konstant (für die Südadria beträgt die aus den Kappazahlen der Hauptmond- und Hauptsonnentide abgeleitete Hafenzeit $3^{h}7$), von Lissa angefangen nehmen die Kappazahlen zuerst langsam, dann weiter gegen Nord sehr rasch zu, wobei sich auf der Strecke Sestrice—Punte Bianche, also dort, wo die Amplituden die kleinsten Beträge aufweisen, eine maximale Zunahme von 2° pro Seemeile ($4 \cdot 3^{m}$ in der Hafenzeit) ergibt. Nordwärts von Cigale schwächt sich die Zunahme der Kappazahlen erheblich ab, sie ist aber am Wege längs der Westküste von Istrien

Fig. 19.



bis Triest und von hier über Grado gegen Venedig noch weiter bemerkbar und resultiert für Venedig eine Hafenzeit von 10^h. Da die Hafenzeiten der nördlichen Stationen (Venedig, Triest) im Mittel 9^h45^m (M. E. Z.), jene der südlichsten (Pelagosa, Ragusa, Meljine) im Mittel 3^h39^m ausmachen, so resultiert als Differenz der Hafenzeit im Nord und Süd 6^h6^m, das ist ungefähr die halbe Periode der Halbtagsgezeiten (M_2 und S_2); es sind somit die Phasenzeiten der hauptsächlichsten Halbtagsgezeiten um eine halbe Wellenperiode verschieden. Hieraus, sowie aus dem in Fig. 19 ersichtlichen Verhalten der Amplituden bei einer Ortsverschiebung von Nord gegen Süd ergibt sich ohne weiters, daß die Halbtagstiden den Charakter stehender Wellen besitzen, deren Knotenlinie etwas südlich von der Spitze Punte Bianche vorbeiführen dürfte. Was die rasche Änderung der Kappazahlen und damit der Hafenzeiten am Wege von Comisa über Cigale bis zur istrischen Küste betrifft, eine Erscheinung, die früher vielfach durch eine längs der dalmatinischen und istrischen Küste gegen NW fortschreitenden und dann den Golf von Triest gegen den Zeiger einer Uhr umkreisenden Flutwelle zu erklären versucht wurde, so ist dieser sich sukzessive und in der Nähe der Knotenlinie sehr rasch vollziehende Wechsel der Hafenzeiten (Amphidromie) auf Querschwingungen zurückzuführen, die — wie dies zuerst Dr. Robert von Sterneck nachgewiesen hat — durch das Einwirken der Erdrotation auf die in den stehenden Wellen der Halbtagsgezeiten horizontal bewegten Wasserteilchen ausgelöst werden.[1]

Das Verhältnis der Amplituden von M_2 und S_2 für die Adriastationen, von denen die Flutkonstanten mittels der harmonischen Analyse abgeleitet worden sind, ist aus Tabelle *A* ersichtlich. $M_2 : S_2$ ist durchaus kleiner als 2 und wird somit die theoretische Verhältniszahl 2·3 in keinem Punkt der Adriatischen Ostküste erreicht. Was die Verhältniszahlen der übrigen Halbtagstiden betrifft, so ist im Mittel $M_2 : N_2 = 5 \cdot 90$ und $S_2 : K_2 = 3 \cdot 26$. Es beträgt somit die Amplitude der großen elliptischen Mondtide 0·17 von M_2 und jene der Äquinoktialtide 0·31 von S_2.

Aus dem Vergleich der Kappazahlen der Halbtagstiden untereinander für die einzelnen Stationen ergibt sich für das heimische Küstengebiet, daß zwischen $\varkappa_{M_2}$ und $\varkappa_{S_2}$ keine systematischen Unterschiede zu erkennen sind, und daß die hierin auf den einzelnen Stationen in Größe und im Vorzeichen variierenden Differenzen lokalen Ursachen zuzuschreiben sein dürften. Das Mittel dieser Differenzen wurde mit 0 gefunden und folgt daraus, daß die jeweilig höchsten Springfluten am Tage der Konjunktion, beziehungsweise Opposition von Sonne und Mond, also bei Neu- und Vollmond eintreten müssen, daß das Alter der Gezeiten (Halbtagsgezeiten) in der Adria = 0 ist.

Auch zwischen den Kappazahlen der Hauptmond- und der großen elliptischen Mondtide (N) bestehen, wie dies zumeist beobachtet wird, keine merklichen Unterschiede und kann daher für $\varkappa_N$ ohne Bedenken $\varkappa_{M_2}$ substituiert werden. Die Kappazahlen der Äquinoktialtide (K_2) sind dagegen mit Ausnahme von Meljine durchgehends kleiner als jene der Hauptsonnentide. Das Mittel der auf den Beobachtungsstationen der heimischen Küste beobachteten Differenzen, die zwischen $+13^\circ 4$ (Pelagosa) und $-4^\circ 3$ (Meljine) schwanken, beträgt $+5^\circ 8$.

b) Ganztägige Tiden. Ein wesentlich verschiedenes Verhalten zeigen betreffs der Varation ihrer Amplituden und Kappazahlen die ganztägigen Tiden. Ihre Amplituden nehmen von *NW* gegen *SE* in axialer Richtung der Adria auffällig gleichmäßig ab. Zeichnet man in der Richtung der Medianachse der Adria eine Linie und trägt man auf den Senkrechten, die von allen Hafenorten, für die ich die Amplitude von K_1 und O berechnet habe, auf diese Achse gefällt wurden, die Amplituden von $K_1 + O$ in gleichem Maßstabe auf, so zeigt sich, daß die Endpunkte dieser Ordinaten nahezu in eine Gerade fallen. Verlängert man noch diese Gerade gegen den Eingang der Adria, so wird die

---

[1] Dr. Robert von Sterneck: »Über den Einfluß der Erdrotation auf die Halbtagsgezeiten der Adria«. Aus den Sitzungsberichten der Kais. Akad. der Wissenschaften in Wien. Math. naturwissenschaftl. Klasse, Bd. CXXIII, Abt. IIa, Jänner 1914. Auf die Möglichkeit eines Einflusses der Erdrotation auf die Gezeitenerscheinungen in der Adria hat übrigens schon Rollin, A. Harris in seinen »Cotidal lines for the world«, Report of the superintendent of the coast and geodetic survey, 1903—1904, hingewiesen.

Medianachse bei einem Punkt geschnitten, der nahe der Straße von Otranto zu liegen kommt. (Fig. 19). Untereinander verglichen sind auf sämtlichen Stationen die Amplituden von P und O nahezu gleich und resultiert im Mittel $O : P = 1 \cdot 04$. Das Verhältnis $K_1 : O$ wurde im Mittel zu 3·10, jenes von $K_1 : P$ zu 3·23 gefunden; die Amplituden von O und P betragen sonach 0·33 beziehungsweise 0·31 jener der großen Lunisolartide K_1.

Die Kappazahlen der ganztägigen Tiden K_1, O und P weisen auf der ganzen heimischen Küste nur geringe Unterschiede auf. Während also die Kappazahlen der Halbtagstiden ($\frac{M_2 + S_2}{2}$ auf M.E.Z. reduziert) vom Eingange in den Golf von Cattaro bis Triest um 172° zunehmen, beträgt die Gesamtänderung der Kappazahlen der ganztägigen Tiden im Mittel auf dieser Strecke nur 15°, wovon auch noch ein Teil auf lokale Einflüße zurückzuführen sein dürfte.

Wir haben also bei regelmäßiger Abnahme der Amplituden von NW gegen SE überall fast die gleichen Phasenzeiten und können wir daher die resultierende ganztägige Gezeitenwelle ebenfalls als stehende Welle ansprechen, deren Knotenlinie in oder nahe dem Kanal von Otranto zu liegen scheint.[1]

Vergleicht man die Kappazahlen der ganztägigen Tiden K_1, O und P für die einzelnen Stationen untereinander, so zeigt sich zunächst, daß P und O im Durchschnitt keine ins Gewicht fallende Unterschiede aufweisen und werden daher im ganzen Adriagebiet, wie sich dies durch Einsetzen von $\varkappa_P$ und $\varkappa_O$ in die Grundgleichung $H \cos (qt - \beta)$ nachweisen läßt, die Partialwellen P und O bei den Syzygien zusammenfallen, bei den Quadraturen aber interferieren. Da weiters die Amplituden dieser beiden Tiden in allen Stationen nahezu gleich groß sind, werden ihre Wirkungen nahe den Syzygien sich summieren, hingegen nahe den Mondvierteln sich gegenseitig aufheben, so daß bei diesen letzteren Konstellationen von den ganztägigen Tiden nur K_1 allein zur Geltung kommen kann.

Das Zusammenwirken von K_1 mit den beiden Deklinationstiden P und O äußert sich bei den geringen Unterschieden, welche die Kappazahlen der ganztägigen Tiden aufweisen — $K_1 - O$ beträgt im Mittel 8°8; $K_1 - P$ 5°4 — im heimischen Küstengebiete in durchaus gleicher Weise, wie dies auch aus den Koinzidenzschemas für Pola und Ragusa zu ersehen ist. P und K_1 koinzidieren nahe den Solstitien, O und K_1 dann, wenn die Mondesdeklination sich nahe den größten nördlichen oder südlichen Werten befindet, woraus weiters folgt, daß bei den Syzygien die in der Nähe der Solstitien stattfinden, nicht nur die Halbtagstiden ihre Maximalwirkung äußern, sondern auch, daß in der Adria die größten Fluthöhen bei jenen Syzygien zur Ausbildung gelangen, die nahe den Solstitien eintreten, wie dies auch die Beobachtung durchaus bestätigt.

* * *

Da die Kappazahlen der Halbtagstiden in den einzelnen Regionen der Adria sehr verschiedene Werte besitzen, hingegen jene der ganztägigen Wellen nur wenig differieren, muß sich auch der Aufbau der resultierenden Flutkurven, die Koinzidenz der Partialtiden und damit der jahreszeitliche Gang im Gezeitenablauf in unserem Küstengebiete verschiedenartig gestalten; so ersehen wir aus den Koinzidenzschemas für Pola und Ragusa, daß in der N-Adria die große Lunisolartide K_1 mit der Hauptsonnentide S_2 betreffs der Hochwasser Mitte April (erstes Hochwasser) und Mitte Oktober (zweites Hochwasser) zusammenfällt, während diese Koinzidenzen sich im Süden nahe den Solstitien vollziehen; mit der Hauptmondtide koinzidiert K_1 im Norden bei mittlerer, im Süden bei maximaler Monddeklination, ebenso finden die Koinzidenzen von M_2 und O im Norden bei anderen Deklinationswerten des Mondes statt als im Süden.

---

[1] Mit dem physikalischen Charakter der Gezeitenwellen, mit der durch die morphologischen und Tiefenverhältnisse der Adria geschaffenen Möglichkeit der Ausbildung stehender Wellen und mit den durch die ablenkende Kraft der Erdrotation hervorgerufenen Querschwingungen wird sich der von Universitätsprofessor Dr. Robert von Sterneck bearbeitete zweite Teil dieser Studie befassen.

Diese durch das regional verschiedene Zusammenwirken der Partialtiden bedingten Unterschiede im Gezeitenablauf wollen wir im nachstehenden getrennt für die einzelnen Gebiete der Adria rekapitulieren.[1]

Fig. 20.



I. H_{M_2} ist erheblich größer als H_{K_1}. Golf von Triest. Das Verhältnis $K_1 + O : M_2 + S_2$ ist hier 0·53 und gehören die Gezeiten dieser Region nach van der Stok zum gemischten Typus. Hier kommen die täglichen Doppelschwingungen am besten zur Ausbildung und hat im Adriatischen Meere der Golf von Triest die größte Gezeitenbewegung, die mittlere Fluthöhe beträgt 88 *cm*. Wegen der stark entwickelten ganztägigen Tiden sind aber die täglichen Ungleichheiten sehr groß und besonders dann, wenn das resultierende Hochwasser der ganztägigen Tiden der Kulmination der Springgezeit von M_2 und S_2 am nächsten kommt, das ist in der zweiten Hälfte April (erstes Hochwasser) und in der zweiten Hälfte Oktober (zweites Hochwasser). Die Amplituden der Syzygialhochwasser sind etwas kleiner als jene der Niedrigwasser, letztere weisen ihre stärkste Entwicklung bei den Syzygien in der ersten Hälfte des Jänners (erstes Niedrigwasser) und in der ersten Hälfte des Juli (zweites Niedrigwasser) auf. Die größten Fluthöhen werden im Golf von Triest bei den Syzygien in der ersten Hälfte des Mai und November beobachtet. Nahe den Quadraturen ist gewöhnlich eines der Extreme stark abgeschwächt, da dann die Nippgezeit von M_2 und S_2 auf 10·5 *cm* herabsinkt und die Amplitude der K_1-Tide 17·3 *cm* ausmacht, somit das Hochwasser sich bei dieser Mondkonstellation nach der K_1-Tide richten muß. Im März und April und im August und September sind bei den Quadraturen die sekundären Extreme am schwächsten entwickelt, so daß in diesen Monaten die Flutkurven nur ein Hoch- und Niedrigwasser aufweisen. Bei diesen Eintagsfluten ist, wenn man von der elliptischen Mondflut absieht, die Amplitude des Hochwassers größer als jene des Niedrigwassers.

II. H_{M_2} und H_{K_1} sind nahezu gleich. Nördliche Adria bis zur Höhe der Insel Unie mit Ausschluß des Golfes von Fiume und des Kanales von Morlacca.

Der Gezeitenablauf vollzieht sich bei kleinerem Tidenhub (die mittlere Fluthöhe beträgt 61 *cm*) wie im Golf von Triest und ist eine Verschiebung in den Eintrittszeiten der maximalen Syzygialhoch-

[1] Siehe obenstehende Karte der Hafenzeiten im Adriatischen Meere. Fig. 20.

wasser um etwa einen halben Monat gegen den Sommer zu wahrzunehmen. Nahe den Quadraturen sind die Eintagsfluten besser ausgebildet und zwar besonders vom Jänner bis September, in welchen Monaten die sekundären Extreme fast ganz unterdrückt sind. Die größten Fluthöhen werden nahe den Solstitien, also später als im Golf von Triest beobachtet.

III. H_{M_2} ist etwas kleiner als H_{K_1}. Golf von Fiume und Kanal von Morlacca. Durch das weitere Zurücktreten der Halbtagstiden gegen jene von ganztägiger Periode — $K_1 + O : M_2 + S_2 = 1 \cdot 12$ — wird die tägliche Ungleichheit so groß, daß in der Nähe der Mondviertel nicht nur das ganze Jahr hindurch Eintagsfluten stattfinden, wobei sich das Hochwasser nach der Kulmination der K_1-Tide richtet, sondern es kommen selbst bei den Springgezeiten in den Monaten Mai, Juni, November und Dezember nur ein Hochwasser und Niedrigwasser zur Ausbildung. Während eines Teils jedes Mondmonates richtet sich wie beim folgenden Typus IV die Flut nach der K_1-Tide, die täglich um 4^m voreilt, und nicht nach der Mondbewegung. Die Amplituden der Springhochwasser sind noch immer kleiner als jene der Niedrigwasser, bei den Quadratureintagsfluten sind die Amplituden der Extreme gleich.

Die bei sämtlichen Partialtiden wahrzunehmende Verkleinerung der Amplituden im Vergleich zu dem weiter südlich gelegenen Hafen von Pola dürfte zum größten Teil auf eine Abschwächung der mit der stationären Wellenbewegung in Verbindung stehenden horizontalen Wasserverschiebung durch die dem NE-Becken der Adria vorgelagerten Inselgruppen zu erklären sein.

IV. H_{M_2} ist erheblich kleiner als H_{K_1}. Mittlere Adria von der Insel Unie bis zur Südspitze der Insel Grossa. Die Amplituden der Halbtagstiden treten in dieser Region noch mehr gegen jene der ganztägigen zurück. $K_1 + O : M_2 + S_2$ ist größer als $1 \cdot 25$, die Gezeiten haben daher durchaus den Charakter des Eintagstypus. Bei der Spitze Punte Bianche (Hafen Pantera), wo die Knotenlinie der halbtägigen Schwingungen nahe vorbeizuführen scheint, beträgt die Amplitude von M_2 nur ein Drittel jener von K_1, der Gezeitenablauf wird daher fast ganz von den ganztägigen Tiden beherrscht und ist die mit der Mondbewegung in Zusammenhang stehende Verspätung der Hochwasser zum großen Teil unterdrückt. In dieser Region gibt es daher eigentlich keine Hafenzeit und keine halbmonatliche Ungleichheit und richtet sich der Gezeitenablauf im größten Teil des Mondmonates nach der K_1-Tide, wobei aber in den resultierenden Flutkurven die regelmäßige Verfrühung in den Eintrittszeiten der Kulminationen der K_1-Tide, die wie bekannt von Monat zu Monat zwei Stunden ausmacht, in der Nähe der Syzygien durch die Halbtagstiden in der Weise gestört wird, daß im Sommerhalbjahr das Hochwasser um 6^h, im Winterhalbjahr um $18—19^h$ zur Ausbildung kommt, daher bei den Übergängen von den nicht unmittelbar den Syzygien anliegenden, mit der K_1-Tide wandernden Flutkurven zu jenen bei Voll- oder Neumond größere oder geringere Sprünge in den Eintrittszeiten der Extremwerte auftreten müssen. Es entstehen somit Unregelmäßigkeiten, welche die Gezeiten in diesem Meeresteil sehr kompliziert erscheinen lassen. Unregelmäßige Doppelschwingungen, wobei immer nur ein Hochwasser und ein Niedrigwasser gut ausgebildet sind, beobachten wir bei den Syzygien nur im Februar bis April und im August bis Oktober, sonst haben wir auch bei den Syzygien reine Eintagsfluten. Nahe den Quadraturen ist die Verfrühung der Eintrittszeiten der Extreme viel regelmäßiger, weil eben bei einer Nippgezeit von $M_2 + S_2$ im Betrage von $1 \cdot 1\,cm$ die Wirkung der Halbtagsgezeiten fast ganz verschwindet.

Bei den Quadraturen, die nahe den Äquinoktien auftreten, bildet sich das Hochwasser um $10^1/_2{}^h$, das Niedrigwasser um 22^h aus und verfrüht sich ersteres dann durchschnittlich um 2^h per Monat, nahe den Äquinoktien rascher, nahe den Solstitien langsamer; die Verfrühung der Eintrittszeiten des Niedrigwassers findet das ganze Jahr hindurch ziemlich gleichmäßig statt.

Die mittlere Fluthöhe liegt in dieser Region mit Ausnahme des nördlichen Teiles schon unter 40 *cm*, sie ist aber trotz der schwach entwickelten Halbtagsgezeiten doch noch größer als in der Südadria. Nördlich von Punte Bianche, im Hafen von Cigale und auch im Kanal von Zara sind bei den

Syzygien die Amplituden der Niedrigwasser noch größer als jene der Hochwasser, bei Sestrice überwiegen bereits die Hochwasseramplituden, wie dies dann in der ganzen südlichen Adria zu beobachten ist. Bei den Quadraturen sind die Amplituden der Extreme mit Ausnahme von Sestrice, wo bereits bei Hochwasser das Wasser höher steigt, als es bei Niedrigwasser zu fallen vermag, die Fluthöhen der Hoch- und Niedrigwasser gleich.

Die größten Fluthöhen kommen wie in den Regionen II und III nahe den Solstitien zur Ausbildung.

V. H_{M_2} ist kleiner als H_{K_1}. (Die Amplituden sämtlicher Tiden sind kleiner als beim Typus III.) Südspitze der Insel Grossa bis zu einer Linie, die nördlich von Pelagosa zur Klippe Glavat führt. Die in dieser Region wieder stärker entwickelte M_2-Tide erreicht betreffs der Fluthöhe die K_1-Tide noch nicht. Das Verhältnis $K_1 + O : M_2 + S_2$ variiert zwischen 0·82 und 1·15 und gehören demnach die Gezeiten dieses Meeresteiles wieder dem gemischten Typus an, was sich auch durch das Zurücktreten der Eintagstiden gegenüber den Doppelschwingungen zu erkennen gibt. Die erhebliche Abnahme der Kappazahlen der Halbtagstiden und die dadurch geänderte Situation der Halbtags- und ganztägigen Tiden zueinander — die Differenz der Kappazahlen der beiden Wellengruppen beträgt hier nur mehr 80° — hat zur Folge, daß in diesem Gebiete und dann auch in der ganzen südlichen Adria nahe den Syzygien die Hochwasseramplituden größer ausfallen als jene der Niedrigwasser. Wie wir schon bei Sestrice gesehen haben, tritt hierin bei den Quadraturen das Umgekehrte auf, da dann die Hebung des Wasserspiegels bei Flut größer ist als die Depression bei Ebbe.

In der Nähe der Quadraturen werden das ganze Jahr über Eintagsfluten beobachtet. Die größten Fluthöhen kommen etwa zwei Monate später als im Golf von Triest zur Ausbildung, nämlich im Juli und Jänner. Die Hafenzeit ist von Sebenico südwärts gegen die Insel Lissa noch in Abnahme begriffen; von dort angefangen bleibt sie dann konstant. Die mittlere Fluthöhe erfährt schon von Sebenico an keine weitere Änderung und beträgt sie 30 *cm*.

VI. H_{M_2} ist größer als H_{K_1}. Südliches Adriabecken von der Insel Pelagosa bis zum Kanal von Otranto. Dieser Typus nähert sich betreffs des Verhältnisses der Amplituden der ganztägigen und Halbtagsgezeiten zueinander dem Typus I und betragen die Amplituden der Partialtiden etwa ein Drittel der korrespondierenden im Golf von Triest, $K_1 + O : M_2 + S_2$ ist 0·50. Da die Halbtagstiden wieder die Oberhand bekommen haben, sind die täglichen Ungleichheiten kleiner und weisen die Flutkurven zumeist Doppelschwingungen auf. Eintagsfluten werden nahe den Quadraturen nur im Februar bis April und Juli bis September beobachtet und haben wir im Auftreten von sekundären Extremen in den Quadraturkurven in jenen Monaten, die sich um die Solstitien gruppieren, eine Erscheinung, die dem nördlichen und südlichen Becken der Adria gemeinschaftlich ist und nur in der mittleren Adria verschwindet.

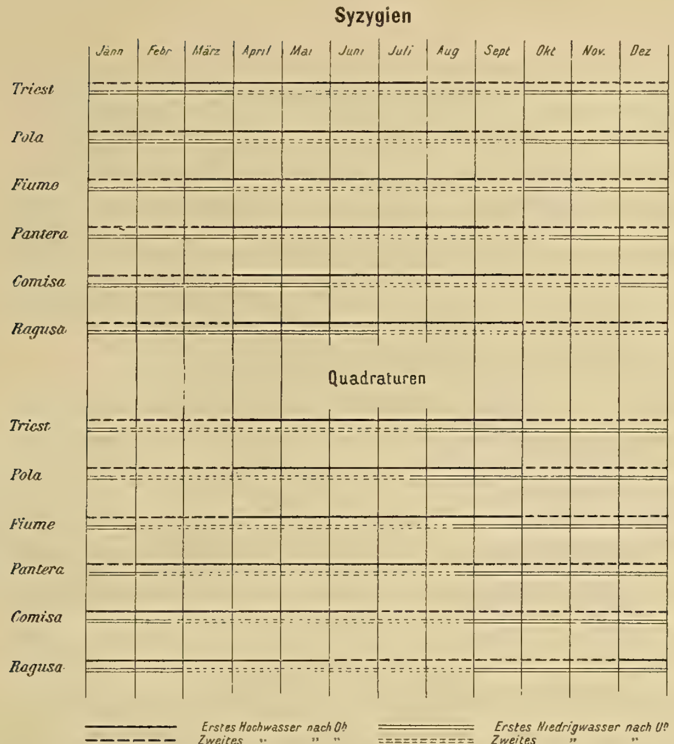
Charakteristisch für das Südbecken von Lissa angefangen sind die fast konstanten Kappazahlen der Halbtagstiden, daher auch die Hafenzeiten ganz unbedeutende Variationen (3^h6—3^h9) aufweisen, ferner die unveränderliche mittlere Fluthöhe von 30 *cm*. Bei den Syzygien sind die Amplituden der Hochwasser merklich größer als jene der Niedrigwasser. Bei den Eintagsfluten werden bei den Niedrigwassern größere Amplituden beobachtet als bei den Hochwassern, also das Umgekehrte wie in der Nordadria.

Die größten Fluthöhen fallen auf Anfang August und Anfang Februar, sie kommen ungefähr drei Monate später zur Ausbildung als in Triest.

Eine für die ganze Adria geltende Regel, die zum Ausdruck bringen würde, welches von den beiden der oberen oder unteren Kulmination folgende Hochwasser bei den wechselnden Deklinationen des Mondes das jeweilig größere ist, läßt sich bei den hierin an unserer Küste beobachteten regionalen Verschiedenheiten nicht aufstellen und gibt betreffs der Jahreszeiten, wann das erste, beziehungsweise zweite nach 0^h auftretende Hoch-(Niedrigwasser) stärker ausgebildet ist, die nachstehende Tabelle (Fig. 21) — getrennt für die Syzygien und Quadraturkurven — Aufschluß.

* * *

Fig. 21.



Von den obgenannten sechs Regionen der Adria wurden für je einen Ort die halbmonatlichen + täglichen Ungleichheiten sowie die Hochwasserhöhen nach der auf Seite 17—19 erläuterten Methode berechnet und darnach die Tabellen IV und V zusammengestellt. Für die Benutzung dieser Tabellen ist zu bemerken:

Es gelten die Daten von:

Triest für den Golf von Triest bis zur Spitze Salvore (Sektion I auf der Karte der Hafenzeiten);

Pola für die Küste von Istrien von Salvore bis zur Straße von Faresina und südwärts bis zur Insel Unie (Sektion II);

Fiume für den Golf von Fiume und die Straße von Morlacca (Sektion III);

Hafen Pantera für das Küstengebiet von der Insel Unie bis zur Südspitze der Insel Grossa (Sektion IV);

Comisa für das Küstengebiet von der Südspitze der Insel Grossa bis zur Linie nördlich Pelagosa—Klippe Glavat (Sektion V);

Ragusa für das Küstengebiet südlich der Linie Pelagosa—Klippe Glavat (Sektion VI).

Um für irgend einen beliebigen Punkt der heimischen Küste den Gezeitenablauf zu berechnen, können mit einer für die Praxis hinreichenden Genauigkeit die Tabellen I, II und III jenes Ortes benutzt werden, der dem betreffenden Küstenpunkt zunächst liegt.

* *
*

Außer den durch fluterzeugende Kräfte hervorgerufenen Schwingungen des Wasserspiegels gibt es im Adriatischen Meere noch Niveauschwankungen, die auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen sind. Hierzu gehören:

1. Die auf mehrere Tage ausgedehnten, zuweilen auch rasch vor sich gehenden Hebungen und Senkungen des Meeresspiegels, wie sie bei Luftdruckunterschieden über dem Mittelmeer und dem Adriatischen Meer und bei langandauernden stetigen Winden zur Beobachtung kommen. Liegt ein Hochdruckgebiet durch längere Zeit über Zentraleuropa und befindet sich im Süden tiefer Druck eine Wetterlage, die in der Adria NE—NW-liche Winde hervorruft, so tritt eine Depression des Wasserspiegels ein, die im Norden 30 bis 40 *cm* betragen kann.

Wenn sich dagegen Barometerminima über dem Ligurischen Meer, über der Nordadria oder über Norditalien einstellen und hoher Druck im Süd lagert, so wehen in der Adria frische bis stürmische SE—SW-Winde und findet dann eine starke Aufstauung des Wassers in der Nordadria statt. Aufstauungen des Wassers von 60 bis 70 *cm* sind in der Nordadria keine Seltenheit.

2. Stehende Wellen im ganzen Meeresbecken oder in einem größeren Teile desselben, die bei Böenwetter und rasch vor sich gehenden Luftdruckschwankungen auftreten und dann große Teile oder die ganze Wassermasse der Adria in Bewegung zu setzen vermögen. Solche stehende Wellen kommen vornehmlich bei böigen SE—SW-Winden zur Ausbildung (siehe das Beispiel auf p. 28 u. 61) und ändern sie dann den Gezeitenablauf mehr oder weniger stark ab. Es ist daher in der Adria ein Zusammenfallen der theoretischen, das sind der mit den Flutkonstanten vorberechneten, und der wirklichen Flutkurven nur bei ruhigem Wetter zu erwarten.

3. Stationäre Schwingungen in Häfen und Kanälen, die durch lokale Windstöße ausgelöst werden. Es sind dies Seichenbewegungen, ihre Schwingungsperiode ist von den örtlichen Verhältnissen abhängig. In unserem Küstengebiete gibt es wohl kaum einen Hafen, wo nicht solche Seichen mehr oder weniger stark entwickelt sind, da die zahlreichen Buchten und Kanäle zu ihrer Ausbildung ein günstiges Terrain abgeben. In engen Kanälen werden durch die Seichen rasch wechselnde Ströme erzeugt, die oft den Fischnetzen gefährlich werden können. Sie sind bei den einheimischen Fischern unter dem Namen *stigazzi* bekannt.[1]

* *
*

Hiermit bin ich mit meinen Ausführungen über die Gezeitenvorgänge unseres heimischen Meeres auf Grund der Ergebnisse der harmonischen Analyse zum Abschluß gekommen. Wir ersehen, daß Flut und Ebbe in der Adria trotz der kleinen Hubhöhen von großem theoretischen Interesse sind und sich ein eingehendes Studium dieser Bewegungen schon deshalb verlohnt, um die hydrodynamischen Vorgänge in einem relativ kleinen langgestreckten Meere, das wir als eine Bucht des Mittelländischen Meeres ansehen dürfen, kennen zu lernen.

Für die Praxis werden die Gezeiten der Adria wohl immer eine untergeordnete Rolle spielen und höchstens dann in Betracht kommen, wenn es sich um Hafenbauten, um die Reduktion von Lotungen oder um Flottmachungsarbeiten aufgefahrener Schiffe handelt.

---

[1] Siehe die Abhandlung »Über Seiches an den Küsten der Adria« von Universitätsprofessor Dr. Robert v. Sterneck. Sitzungsberichte der Akad. der Wissenschaften, mathem.-naturw. Klasse; Bd. CXXIII, p. 2219—2232.

Tabelle I.

Funktion W_0.

Tafel der Funktion W_0 giltig für Triest, Januar 1, 0^h M. O. Z.[1]

Jahreszahl	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1910	1^h4	6^h7	3^h0	16^h3	17^h4	0^h3
11	10·7	6·2	2·8	16·2	17·4	19·0
12	6·9	5·8	2·6	16·0	17·4	12·0
13	4·2	6·7	2·4	15·8	17·5	6·8
14	0·7	6·2	2·3	15·6	17·4	25·6
1915	9·7	5·8	2·1	15·5	17·4	18·5
16	6·2	5·3	2·0	15·4	17·4	11·5
17	3·5	6·2	1·9	15·2	17·5	6·1
18	0·0	5·8	1·9	15·2	17·4	24·8
19	9·0	5·4	2·0	15·3	17·4	17·5
1920	5·5	5·0	2·1	15·4	17·4	10·2
21	2·9	5.9	2·2	15·5	17·5	4·5
22	12·0	5·5	2·4	15·8	17·4	22·8
23	8·5	5·1	2·7	16·0	17·4	15·2
24	5·0	4·7	2·9	16·2	17·4	7·6
1925	2·3	5·6	3·0	16·3	17·5	2·0
26	11·4	5·2	3·1	16·4	17·4	20·6
27	7·9	4·8	3·1	16·4	17·4	13·4
28	4·4	4·4	3·0	16·4	17·4	6·2
29	1·7	5·2	2·9	16·2	17·5	0·9
1930	10·7	4·8	2·7	16·0	17·4	19·7
31	7·2	4·4	2·6	15·9	17·4	12·7
32	3·6	3·9	2·4	15·8	17·4	5·6
33	0·9	4·8	2·2	15·6	17·5	0·4
34	10·0	4·3	2·1	15·4	17·4	19·2
1935	6·4	3·9	2·0	15·3	17·4	12·1
36	2·9	3·5	1·9	15·2	17·4	4·9
37	0·2	4·4	1·9	15·2	17·5	25·4
38	9·3	3·9	2·0	15·3	17·4	18·0
39	5·8	3·6	2·1	15·4	17·4	10·7
1940	2·3	3·1	2·3	15·6	17·4	3·1

Für die Tide S_2 ist zu allen Zeiten $W_0 = 9^h4$, $\Delta W = 0$.
Die Zählung des Datums und der Stunden erfolgt nach astronomischer Zeit.

[1] Diese Tabelle, sowie die Tabellen von ΔW wurden von Dr. F. Hopfner berechnet.

Korrektion von W_0 (Triest) für die übrigen Beobachtungsstationen.[1]

Ort	S_2	M_2	N	K_2	K_1	P	O
Pola	-0^h3	-0^h3	-0^h4	-0^h2	0^h0	-0^h2	$+0^h5$
Fiume	−1·1	−0·9	−1·5	−1·1	−0·2	−0·5	0·0
Zengg	−1·4	−1·1	−1·4	−1·6	−0·2	−0·8	+0·1
Hafen Cigale	−1·1	−1·0	−1·3	−1·1	−0·1	−0·7	+0·1
Hafen Pantera (Punte Bianche)	−2·6	−2·7	−2·4	−2·6	−0·5	−1·4	+0·9
Zara	−1·5	−1·4	−1·8	−1·6	0·0	−0·6	+0·3
I. Sestrice	−4·6	−4·1	−4·5	−4·7	−0·5	−1·1	−0·3
Sebenico	−4·9	−4·7	−5·1	−4·9	−0·6	−1·3	−0·4
Rogoznica	−4·7	−4·5	−4·9	−5·0	0·0	−0·6	+0·3
Comisa	−5·3	−5·6	−6·0	−5·3	−0·6	−1·3	−1·0
I. Pelagosa	−5·4	−5·8	−6·2	−5·7	+0·3	−1·5	+0·3
Ragusa	−5·6	−5·7	−6·5	−5·5	−0·4	−1·0	−0·6
Meljine	−5·5	−5·5	−5·9	−5·1	−0·6	−1·2	−0·4

[1] Ist die algebraische Summe von W_0 und der Korrektion von W_0 negativ, das heißt die Korrektion $> W_0$, so ist W_0 um die Periode der betreffenden Tide zu vermehren und dann erst die Korrektion anzubringen.

Tabelle II.

Funktion Δ *W*.

Jänner.

Gemeines Jahr	Schalt-jahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1	1	0^h0	0^h0	0^h0	0^h0	0^h0	0^h0
2	2	0·8	1·3	11·9	0·0	0·1	1·8
3	3	1·7	2·6	11·9	0·0	0·1	3·6
4	4	2·5	3·9	11·8	23·8	0·2	5·4
5	5	3·4	5·2	11·7	23·7	0·3	7·2
6	6	4·2	6·5	11·7	23·7	0·3	9·1
7	7	5·1	7·8	11·6	23·6	0·4	10·9
8	8	6·0	9·1	11·5	23·5	0·5	12·8
9	9	6·8	10·4	11·5	23·5	0·5	14·6
10	10	7·6	11·7	11·4	23·4	0·6	16·4
11	11	8·5	0·5	11·3	23·3	0·7	18·2
12	12	9·3	1·8	11·3	23·3	0·7	20·0
13	13	10·2	3·1	11·2	23·2	0·8	21·8
14	14	11·0	4·4	11·1	23·1	0·9	23·7
15	15	11·9	5·7	11·1	23·1	0·9	25·5
16	11	0·2	7·0	11·6	23·0	1·0	1·5
17	17	1·0	8·3	10·9	22·9	1·1	3·3
18	18	1·9	9·6	10·9	22·9	1·1	5·1
19	19	2·8	10·9	10·8	22·8	1·2	6·9
20	20	3·6	12·2	10·8	22·7	1·3	8·7
21	21	4·5	1·0	10·7	22·7	1·3	10·5
22	22	5·3	2·3	10·6	22·6	1·4	12·4
23	23	6·1	3·6	10·6	22·5	1·5	14·2
24	24	7·0	4·9	10·5	22·5	1·5	16·0
25	25	7·8	6·2	10·4	22·4	1·6	17·9
26	26	8·7	7·5	10·4	22·3	1·7	19·7
27	27	9·5	8·8	10·3	22·3	1·7	21·5
28	28	10·4	10·1	10·2	22·2	1·8	23·3
29	29	11·2	11·5	10·2	22·1	1·9	25·1
30	30	12·1	0·2	10·1	22·1	1·9	1·1
31	31	0·4	1·5	10·0	22·0	2·0	2·9

Februar.

Gemeines Jahr	Schalt-jahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1	1	1^h3	2^h8	10^h0	21^h9	2^h1	4^h7
2	2	2·1	4·1	9·9	21·9	2·1	6·6
3	3	3·0	5·4	9·8	21·8	2·2	8·4
4	4	3·8	6·7	9·8	21·7	2·3	10·2
5	5	4·6	8·0	9·7	21·7	2·3	12·0
6	6	5·5	9·3	9·6	21·7	2·3	13·8
7	7	6·3	10·6	9·6	21·6	2·4	15·7
8	8	7·2	11·9	9·5	21·5	2·5	17·5
9	9	8·0	0·7	9·4	21·5	3·5	19·3
10	10	8·9	2·0	9·4	21·4	2·6	21·2
11	11	9·8	3·3	9·3	21·3	2·7	23·0
12	12	10·6	4·6	9·2	21.3	2·7	24·8
13	13	11·4	5·9	9·2	21·2	2·8	0·8
14	14	12·3	7·2	9·1	21·1	2·9	2·6
15	15	0·6	8·5	9·0	21·1	2·9	4·4
16	16	1·5	9·8	9·0	21·0	3·0	6·2
17	17	2·3	11·1	8·9	20·9	3·1	8·0
18	18	3·1	12·4	8·8	20·9	3·1	9·9
19	19	4·0	1·2	8·8	20·8	3·2	11·7
20	20	4·8	2·5	8·7	20·7	3·3	13·5
21	21	5·7	3·8	8·6	20·7	3·3	15·3
22	22	6·5	5·1	8·6	20·6	3·4	17·1
23	23	7·4	6·4	8·5	20·5	3·5	18·9
24	24	8·3	7·7	8·5	20·5	3·5	20·8
25	25	9·1	9·0	8·4	20·4	3·6	22·6
26	26	9·9	10·3	8·3	20·3	3·7	24·5
27	27	10·8	11·6	8·3	20·3	3·7	0·4
28	28	11·6	0·4	8·2	20·2	3·8	2·2
	29	0·0	1·7	8·1	20·1	3·9	4·1

Tabelle II.

Funktion Δ *W*.

März.

Gemeines Jahr	Schalt-jahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1		0^{h}0	1^{h}7	8^{h}1	20^{h}1	3^{h}9	4^{h}1
2	1	0·8	3·0	8·1	20·1	3·9	5·9
3	2	1·6	4·3	8·0	20·0	4·0	7·7
4	3	2·5	5·6	7·9	19·9	4·1	9·5
5	4	3·3	6·9	7·9	19·9	4·1	11·3
6	5	4·2	8·2	7·8	19·8	4·2	13·1
7	6	5·1	9·5	7·7	19·7	4·3	15·0
8	7	5·9	10·8	7·7	19·7	4·3	16·8
9	8	6·8	12·2	7·6	19·6	4·4	18·6
10	9	7·6	0·9	7·5	19·5	4·5	20·4
11	10	8·4	2·2	7·5	19·5	4·5	22·2
12	11	9·3	3·5	7·4	19·4	4·6	24·1
13	12	10·1	4·8	7·3	19·3	4·7	0·1
14	13	11·0	6·1	7·3	19·3	4·7	1·9
15	14	11·8	7·4	7·2	19·2	4·8	3·7
16	15	0·1	8·7	7·1	19·1	4·9	5·5
17	16	1·0	10·0	7·1	19·0	4·9	7·4
18	17	1·8	11·4	7·0	19·0	5·0	9·2
19	18	2·7	0·1	6·9	18·9	5·1	11·0
20	19	3·6	1·4	6·9	18·9	5·1	12·8
21	20	4·4	2·7	6·8	18·8	5·2	14·6
22	21	5·3	4·0	6·7	18·7	5·3	16·4
23	22	6·1	5·3	6·7	18·7	5·3	18·3
24	23	6·9	6·6	6·6	18·6	5·4	20·1
25	24	7·8	7·9	6·5	18·5	5·5	21·9
26	25	8·6	9·3	6·5	18·5	5·5	23·7
27	26	9·5	10·6	6·4	18·4	5·6	25·5
28	27	10·3	11·8	6·3	18·3	5·7	1·6
29	28	11·2	0·6	6·3	18·3	5·7	3·4
30	29	12·1	1·9	6·2	18·2	5·8	5·2
31	30	0·3	3·2	6·2	18·1	5·9	7·0
	31	1·2	4·5	6·1	18·1	5·9	8·8

April.

Gemeines Jahr	Schalt-jahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1		1^{h}2	4^{h}5	6^{h}1	18^{h}1	5^{h}9	8^{h}8
2	1	2·1	5·8	6·0	18·0	6·0	10·6
3	2	2·9	7·1	6·0	17·9	6·1	12·5
4	3	3·7	8·5	5·9	17·9	6·1	14·3
5	4	4·6	9·8	5·8	17·8	6·2	16·1
6	5	5·4	11·1	5·8	17·7	6·3	17·9
7	6	6·3	12·4	5·7	17·7	6·3	19·7
8	7	7·1	1·1	5·6	17·6	6·4	21·6
9	8	8·0	2·4	5·6	17·5	6·5	23·4
10	9	8·8	3·7	5·5	17·5	9·5	25·2
11	10	9·7	5·0	5·4	17·4	6·6	1·2
12	11	10·6	6·3	5·4	17·3	6·7	3·0
13	12	11·4	7·7	5·3	17·3	6·7	4·8
14	13	12·2	9·0	5·2	17·2	6·8	6·7
15	14	0·6	10·3	5·2	17·1	6·9	8·5
16	15	1·4	11·6	5·1	17·1	6·9	10·3
17	16	2·2	0·3	5·0	17·0	6·9	12·1
18	17	3·1	1·6	5·0	17·0	7·0	13·9
19	18	3·9	2·9	4·9	16·9	7·1	15·8
20	19	4·8	4·2	4·8	16·9	7·1	17·6
21	20	5·6	5·5	4·8	16·8	7·2	19·4
22	21	6·5	6·9	4·7	16·7	2·3	21·2
23	22	7·3	8·2	4·6	16·7	7·3	23·0
24	23	8·2	9·5	4·6	16·6	7·4	24·8
25	24	9·0	10·8	4·5	16·5	7·5	0·9
26	25	9·9	12·1	4·4	16·5	7·5	2·7
27	26	10·7	0·8	4·4	16·4	7·6	4·5
28	27	11·6	2·1	4·3	16·3	7·7	6·3
29	28	0·0	3·4	4·2	16·3	7·7	8·1
30	29	0·8	4·7	4·2	16·2	7·8	10·0
	30	1·6	6·0	4·1	16·1	7·9	11·8

Tabelle II.

Funktion ΔW.

Mai. Gemeines Jahr	Schalt-jahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O	Juni. Gemeines Jahr	Schalt-jahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1		1^h6	6^h0	4^h1	16^h1	7^h9	11^h8	1		2^h9	8^h9	2^h1	14^h1	9^h9	16^h5
2	1	2·4	7·3	4·0	16·1	7·9	13·6	2	1	3·7	10·2	2·0	14·0	10·0	18·4
3	2	3·3	8·6	4·0	16·0	8·0	15·4	3	2	4·5	11·5	1·9	13·9	10·1	20·2
4	3	4·1	9·9	3·9	15·9	8·1	17·2	4	3	5·4	0·2	1·9	13·9	10·1	22·0
5	4	5·0	11·2	3·9	15·9	8·1	19·1	5	4	6·2	1·5	1·8	13·8	10·2	23·8
6	5	5·9	0·0	3·8	15·8	8·2	20·9	6	5	7·1	2·8	1·7	13·7	10·3	25·6
7	6	6·7	1·3	3·7	15·7	8·3	22·7	7	6	7·9	4·1	1·7	13·7	10·3	1·6
8	7	7·5	2·6	3·7	15·7	8·3	24·5	8	7	8·8	5·5	1·6	13·6	10·4	3·4
9	8	8·4	3·9	3·6	15·6	8·4	0·5	9	8	9·6	6·8	1·6	13·5	10·5	5·2
10	9	9·2	5·2	3·5	15·5	8·5	2·3	10	9	10·5	8·1	1·5	13·5	10·5	7·1
11	10	10·1	6·5	3·5	15·5	8·5	4·2	11	10	11·3	9·4	1·4	13·4	10·6	8·9
12	11	10·9	7·8	3·4	15·4	8·6	6·0	12	11	12·2	10·7	1·4	13·3	10·7	10·7
13	12	11·8	9·2	3·3	15·3	8·7	7·8	13	12	0·5	12·0	1·3	13·3	10·7	12.6
14	13	0·1	10·5	3·3	15·3	8·7	9·6	14	13	1·4	0·7	1·2	13·2	10·8	14·4
15	14	0·9	11·8	3·2	15·2	8·8	11·4	15	14	2·2	2·0	1·2	13·1	10·9	16·2
16	15	1·8	0·5	3·1	15·1	8·9	13·3	16	15	3·0	3·3	1·1	13·1	10·9	18·0
17	16	2·6	1·8	3·1	15·1	8·9	15·1	17	16	3·9	4·7	1·0	13·0	11·0	19·8
18	17	3·5	3·1	3·0	15·0	9·0	16·9	18	17	4·7	6·0	1·0	12·9	11·1	21·7
19	18	4·4	4·4	2·9	14·9	9·1	18·7	19	18	5·6	7·3	0·9	12·9	11·1	23·5
20	19	5·2	5·7	2·9	14·9	9·1	20·5	20	19	6·4	8·6	0·8	12·8	11·2	25·3
21	20	6·0	7·1	2·8	14·8	9·2	22·3	21	20	7·3	9·9	0·8	12·7	11·3	1·3
22	21	6·9	8·4	2·7	14·7	9·3	24·2	22	21	8·2	11·2	0·7	12·7	11·3	3·1
23	22	7·7	9·7	2·7	14·7	9·3	0·1	23	22	9·0	12·5	0·6	12·6	11·4	4·9
24	23	8·6	11·0	2·6	14·6	9·4	2·0	24	23	9·8	1·3	0·6	12·5	11.5	6·7
25	24	9·4	12·3	2·5	14·5	9·5	3·8	25	24	10·7	2·6	0·5	12·5	11·5	8·5
26	25	10·3	1·0	2·5	14·5	9·5	5·6	26	25	11·5	3·9	0·4	12·5	11·5	10·4
27	26	11·1	2·3	2·4	14·4	9·6	7·5	27	26	12·3	5·2	0·4	12·4	11·6	12·2
28	27	12·0	3·6	2·3	14·3	9·7	9·3	28	27	0·7	6·5	0·3	12·3	11·7	14·0
29	28	0·3	4·9	2·3	14·3	9·7	11·1	29	28	1·5	7·8	0·2	12·3	11·7	15·8
30	29	1·1	6·3	2·2	14·2	9·8	12·9	30	29	2·4	9·1	0·2	12·2	11·8	17·6
31	30	2·0	7·6	2·1	14·1	9·9	14·7		30	3·2	10·4	0·1	12·1	11·9	19·4
	31	2·9	8·9	2·1	14·1	9·9	16·5								

Tabelle II.

Funktion Δ *W*.

Juli.

Gemeines Jahr	Schaltjahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1		$3^{h}2$	$10^{h}4$	$0^{h}1$	$12^{h}1$	$11^{h}9$	$19^{h}4$
2	1	4·1	11·7	0·0	12·1	11·9	21·3
3	2	4·9	0·5	0·0	12·0	12·0	23·1
4	3	5·8	1·8	11·9	11·9	12·1	25·0
5	4	6·7	3·1	11·8	11·9	12·1	0·9
6	5	7·5	4·4	11·8	11·8	12·2	2·7
7	6	8·3	5·7	11·7	11·7	12·3	4·6
8	7	9·2	7·0	11·6	11·7	12·3	6·4
9	8	10·0	8·3	11·6	11·6	12·4	8·2
10	9	10·9	9·6	11·5	11·5	12·5	10·0
11	10	11·7	10·9	11·4	11·5	12·5	11·8
12	11	0·0	12·2	11·4	11·4	12·6	13·6
13	12	0·9	0·9	11·3	11·3	12·7	15·5
14	13	1·7	2·3	11·3	11·3	12·7	17·3
15	14	2·6	3·6	11·2	11·2	12·8	19·1
16	15	3·4	4·9	11·1	11·1	12·9	20·9
17	16	4·3	6·2	11·1	11·1	12·9	22·7
18	17	5·2	7·5	11·0	11·0	13·0	24·6
19	18	6·0	8·8	10·9	10·9	13·1	0·6
20	19	6·8	10·1	10·9	10·9	13·1	2·4
21	20	7·4	11·4	10·8	10·8	13·2	4·2
22	21	8·5	0·1	10·7	10·7	13·3	6·0
23	22	9·4	1·5	10·7	10·7	13·3	7·9
24	23	10·2	2·8	10·6	10·6	13·4	9·7
25	24	11·1	4·1	10·5	10·5	13·5	11·5
26	25	11·9	5·4	10·5	10·5	13·5	13·3
27	26	0·2	6·7	10·4	10·4	13·6	15·1
28	27	1·1	8·0	10·3	10·3	13·7	16·9
29	28	2·0	9·3	10·3	10·3	13·7	18·8
30	29	2.8	10·6	10·2	10·2	13·8	20·6
31	30	3·6	11·9	10·1	10·1	13·9	22·4
	31	4·5	0·7	10·1	10·1	13·9	24·2

August.

Gemeines Jahr	Schaltjahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1		$4^{h}5$	$0^{h}7$	$10^{h}1$	$10^{h}1$	$13^{h}9$	$24^{h}2$
2	1	5·3	2·0	10·0	10·0	14·0	0·2
3	2	6·2	3·3	10·0	9·9	14·1	2·1
4	3	7·0	4·6	9·9	9·9	14·1	3·9
5	4	7·9	5·9	9·8	9·8	14·2	5·7
6	5	8·7	7·2	9·7	9·7	14·3	7·5
7	6	9·6	8·5	9·7	9·7	14·3	9·3
8	7	10·4	9·8	9·6	9·6	14·4	11·1
9	8	11·3	11·1	9·5	9·5	14·5	13·0
10	9	12·1	12·4	9·5	9·5	14·5	14·8
11	10	0·5	1·1	9·4	9·4	14·6	16·6
12	11	1·3	2·5	9·3	9·3	14·7	18·4
13	12	2·1	3·8	9·3	9·3	14·7	20·2
14	13	3·0	5·1	9·2	9·2	14·8	22·1
15	14	3·8	6·4	9·1	9·1	14·9	23·9
16	15	4·7	7·7	9·1	9·1	14·9	25·7
17	16	5·5	9·0	9·0	9·0	15·0	1·7
18	17	6·4	10·3	9·0	8·9	15·1	3·5
19	18	7·2	11·6	8·9	8·9	15·1	5·3
20	19	8·1	0·3	8·8	8·8	15·2	7·2
21	20	9·0	1·7	8·8	8·7	15·3	9·0
22	21	9·8	3·0	8·7	8·7	15·3	10·8
23	22	10·6	4·3	8·6	8·6	15·4	12·6
24	23	11·5	5·6	8·6	8·5	15·5	14·4
25	24	12·3	6·9	8·5	8·5	15·5	16·3
26	25	0·6	8·2	8·4	8·4	15·6	18·1
27	26	1·5	9·5	8·4	8·3	15·7	19·9
28	27	2·3	10·8	8·3	8·3	15·7	21·7
29	28	3·2	12·1	8·2	8·2	15·8	23·5
30	29	4·0	0·8	8·2	8·1	15·9	25·3
31	30	4·9	2·1	8·1	8·1	15·9	1·4
	31	5·7	3·4	8·0	8·0	16·0	3·2

Tabelle II.

Funktion ΔW.

September.

Gemeines Jahr	Schaltjahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1		$5^{h}7$	$3^{h}4$	$8^{h}0$	$8^{h}0$	$16^{h}0$	$3^{h}2$
2	1	6·6	4·8	8·0	8·0	16·0	5·0
3	2	7·4	6·1	7·9	7·9	16·1	6·8
4	3	8·3	7·4	7·8	7·9	16·1	8·6
5	4	9·1	8·7	7·8	7·8	16·2	10·5
6	5	10·0	10·0	7·7	7·7	16·3	12·3
7	6	10·8	11·3	7·6	7·7	16·3	14·1
8	7	11·7	0·1	7·6	7·6	16·4	15·9
9	8	0·0	1·4	7·5	7·5	16·5	17·7
10	9	0·8	2·7	7·4	7·5	16·5	19·6
11	10	1·7	4·0	7·4	7·4	16·6	21·4
12	11	2·5	5·3	7·3	7·3	16·7	23·2
13	12	3·4	6·6	7·2	7·3	16·7	25·0
14	13	4·2	7·9	7·2	7·2	16·8	1·0
15	14	5·1	9·2	7·1	7·1	16·9	2·8
16	15	6·0	10·5	7·0	7·1	16·9	4·7
17	16	6·8	11·8	7·0	7·0	17·0	6·5
18	17	7·6	0·6	6·9	6·9	17·0	8·3
19	18	8·5	1·9	6·8	6·9	17·1	10·1
20	19	9·3	3·2	6·8	6·8	17·2	11·9
21	20	10·2	4·5	6·7	6·7	17·3	13·8
22	21	11·0	5·8	6·7	6·7	17·3	15·6
23	22	11·9	7·1	6·6	6·6	17·4	17·4
24	23	0·2	8·4	6·5	6·5	17·5	19·2
25	24	1·0	9·7	6·5	6·5	17·5	21·0
26	25	1·9	11·0	6·4	6·4	17·6	22·8
27	26	2·8	12·3	6·3	6·3	17·7	24·7
28	27	3·6	1·1	6·3	6·3	17·7	0·6
29	28	4·5	2·4	6·2	6·2	17·8	2·4
30	29	5·3	3·7	6·1	6·1	17·9	4·3
	30	6·1	5·0	6·1	6·1	17·9	6·1

Oktober.

Gemeines Jahr	Schaltjahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1		$6^{h}1$	$5^{h}0$	$6^{h}1$	$6^{h}1$	$17^{h}9$	$6^{h}1$
2	1	7·0	6·3	6·0	6·0	18·0	8·0
3	2	7·8	7·6	5·9	5·9	18·1	9·8
4	3	8·7	8·9	5·9	5·9	18·1	11·6
5	4	9·5	10·2	5·8	5·8	18·2	13·4
6	5	10·4	11·5	5·7	5·7	18·3	15·2
7	6	11·2	0·3	5·7	5·7	18·3	17·0
8	7	12·1	1·6	5·6	5·6	18·4	18·9
9	8	0.4	2·9	5·5	5·5	18·5	20·7
10	9	1·3	4·2	5·5	5·5	18·5	22·5
11	10	2·1	5·5	5·4	5·4	18·6	24·3
12	11	3·0	6·8	5·3	5·3	18·7	0·3
13	12	3·8	8·1	5·3	5·3	18·7	2·1
14	13	4·6	9·4	5·2	5·2	18·8	3·9
15	14	5·5	10·7	5·1	5·1	18·9	5·6
16	15	6·3	12·0	5·1	5·1	18·9	7·6
17	16	7·2	0·8	5·0	5·0	19·0	9·4
18	17	8·0	2·1	4·9	4·9	19·0	11·2
19	18	8·9	3·4	4·9	4·9	19·1	13·0
20	19	9·8	4·7	4·8	4·8	19·2	14·8
21	20	10·6	6·0	4·7	4·7	19·3	16·7
22	21	11·4	7·3	4·7	4·7	19·3	18·5
23	22	12·3	8·6	4·6	4·6	19·4	20·3
24	23	0·6	9·9	4·5	4·5	19·5	22·2
25	24	1·4	11·2	4·5	4·5	19·5	24·0
26	25	2·3	12·5	4·4	4·4	19·6	0·0
27	26	3·1	1·3	4·4	4·4	19·7	1·8
28	27	4·0	2·6	4·3	4·3	19·7	3·6
29	28	4·8	3·9	4·2	4·2	19·8	5·4
30	29	5·7	5·2	4·2	4·2	19·9	7·2
31	30	6·5	6·5	4·1	4·1	19·9	9·0
	31	7·4	7·8	4·0	4·0	20·0	10·9

Tabelle II.

Funktion Δ *W*.

		November.								Dezember.					
Gemeines Jahr	Schaltjahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O	Gemeines Jahr	Schaltjahr	M_2	N	K_2	K_1	P	O
1		7ʰ4	7ʰ8	4ʰ0	4ʰ0	20ʰ0	10ʰ9	1		7ʰ8	9ʰ3	2ʰ1	2ʰ1	21ʰ9	13ʰ8
2	1	8·3	9·1	4·0	3·9	20·1	12·7	2	1	8·6	10·6	2·0	2·0	22·0	15·6
3	2	9·1	10·4	3·9	3·9	20·1	14·5	3	2	9·5	11·9	1·9	1·9	22·1	17·4
4	3	9·9	11·7	3·8	3·8	20·2	16·3	4	3	10·3	0·7	1·9	1·9	22·1	19·3
5	4	10·8	0·5	3·8	3·7	20·3	18·1	5	4	11·2	2·0	1·8	1·8	22·2	21·1
6	5	11·6	1·8	3·7	3·7	20·3	19·9	6	5	12·1	3·3	1·7	1·7	22·3	22·9
7	6	0·0	3·1	3·6	3·6	20·4	21·8	7	6	0·3	4·6	1·7	1·7	22·3	24·7
8	7	0·8	4·4	3·6	3·5	20·5	23·6	8	7	1·2	5·9	1·6	1·6	22·4	0·7
9	8	1·6	5·7	3·5	3·5	20·0	25·5	9	8	2·1	7·2	1·5	1·5	22·5	2·6
10	9	2·5	7·0	3·4	3·4	20·6	1·4	10	9	2·9	8·5	1·5	1·5	22·5	4·4
11	10	3·3	8·3	3·4	3·4	20·7	3·2	11	10	3·7	9·8	1·4	1·4	22·6	6·2
12	11	4·2	9·6	3·3	3·3	20·7	5·1	12	11	4·6	11·1	1·3	1·3	22·7	8·0
13	12	5·1	10·9	3·2	3·3	20·8	6·9	13	12	5·4	12·1	1·3	1·3	22·7	9·8
14	13	5·9	12·2	3·2	3·2	20·9	8·7	14	13	6·3	1·2	1·2	1·2	22·8	11·6
15	14	6·8	1·0	3·1	3·1	20·9	10·5	15	14	7·1	2·5	1·1	1·1	22·9	13·5
16	15	7·6	2·3	3·0	3·1	21·0	12·3	16	15	8·0	3·8	1·1	1·1	22·9	15·3
17	16	8·4	3·6	3·0	3.0	21·1	14·1	17	16	8·8	5·1	1·0	1·0	23·0	17·1
18	17	9·3	4·9	2·9	2·9	21·1	16·0	18	17	9·7	6·4	0·9	0·9	23·1	18·9
19	18	10·1	6·2	2·8	2·9	21·2	17·8	19	18	10·6	7·7	0·9	0·9	23·1	20·7
20	19	11·0	7·5	2·8	2·8	21·3	19·6	20	19	11·4	9·0	0·8	0·8	23·2	22·6
21	20	11·8	8·8	2·7	2·7	21·3	21·4	21	20	12·2	10·3	0·7	0·7	23·3	24·4
22	21	0·1	10·1	2·6	2·7	21·4	23·2	22	21	0·6	11·6	0·7	0·7	23·3	0·4
23	22	1·0	11·4	2·6	2·6	21·5	25·1	23	22	1·4	0·4	0·6	0·6	23·4	2·2
24	23	1·8	0·2	2·5	2·5	21·5	1.1	24	23	2·2	1·7	0·5	0·5	23·5	4·0
25	24	2·7	1·5	2·4	2·5	21·6	2·9	25	24	3·1	3·0	0·5	0·5	23·5	5·8
26	25	3·6	2·8	2·4	2·4	21·7	4·7	26	25	3·9	4·3	0·4	0·4	23·6	7·7
27	26	4·4	4·1	2·3	2·3	21·7	6·5	27	26	4·8	5·6	0·3	0·3	23·7	9·5
28	27	5·3	5·4	2·3	2·3	21·7	8·4	28	27	5·6	6·9	0·3	0·3	23·7	11·3
29	28	6·1	6·7	2·2	2·2	21·8	10·2	29	28	6·5	8·2	0·2	0·2	23·8	13·1
30	29	6·9	8·0	2·1	2·1	21·9	12·0	30	29	7·3	9·5	0·1	0·1	23·9	14·9
	30	7·8	9·3	2·1	2·1	21·9	13·8	31	30	8·2	10·8	0·1	0·1	23·9	16·8
									31	9·0	12·1	0·0	0·0	24·0	18·6

Tabelle III.

Ordinaten der Partialtiden für ganze und halbe Stunden.[1]

Ganze und halbe Stunden	S_2 (+ 19)	M_2 (+ 30)	N (+ 7)	K_2 (+ 8)	K_1 (+ 20)	P (+ 8)	O (+ 8)	S_2 (+ 10)	M_2 (+ 20)	N (+ 5)	K_2 (+ 5)	K_1 (+ 20)	P (+ 5)	O (+ 5)
	Triest[2]							Pola						
$-1/2$	34	55	11	13	37	13	13	18	35	7	7	35	10	10
0	35	56	11	13	37	13	13	19	35	7	7	36	10	10
$1/2$	34	55	11	13	37	13	13	18	35	7	7	35	10	10
1	32	52	11	12	36	13	13	17	33	7	7	35	10	10
$1^1/_2$	30	48	11	12	36	13	13	16	31	7	7	34	10	10
2	27	43	10	11	35	12	12	14	28	6	6	33	9	9
$2^1/_2$	23	38	9	9	34	12	12	12	25	6	6	32	9	9
3	19	31	7	8	32	12	12	10	21	5	5	31	9	9
$3^1/_2$	15	25	6	7	30	11	11	8	17	5	4	30	8	8
4	11	19	5	5	29	11	11	6	13	4	4	28	8	8
$4^1/_2$	8	14	4	4	27	10	10	4	10	4	3	26	7	7
5	6	9	3	4	24	9	10	3	8	3	3	24	6	7
$5^1/_2$	4	6	3	3	22	9	9	2	6	3	3	22	6	6
6	3	4	3	3	20	8	9	1	5	3	3	20	5	6
$6^1/_2$	4	4	3	3	18	7	8	2	5	3	3	18	4	5
7	6	6	3	4	16	7	7	3	6	3	3	16	4	4
$7^1/_2$	8	10	3	4	13	6	7	4	8	3	3	14	3	4
8	11	15	4	5	11	5	6	6	11	4	4	12	2	3
$8^1/_2$	15	20	5	7	10	5	6	8	14	4	4	10	2	3
9	19	26	6	8	8	4	5	10	18	5	5	9	1	2
$9^1/_2$	23	32	7	9	6	4	5	12	22	5	6	8	1	2
10	27	38	8	11	5	4	4	14	25	6	6	7	1	1
$10^1/_2$	30	44	9	12	4	3	4	16	29	6	7	6	0	1
11	32	49	10	12	4	3	4	17	31	7	7	5	0	1
$11^1/_2$	34	53	11	13	3	3	3	18	34	7	7	5	0	0
12	35	55	11	13	3	3	3	19	35	7	7	4	0	0
$12^1/_2$	34	56	11	13	3	3	3	18	35	7	7	5	0	0
13	32	55	11	12	4	3	3	17	35	7	7	5	0	0
$13^1/_2$	30	52	11	12	4	3	3	16	33	7	6	6	0	0
14	27	47	11	11	5	3	3	14	30	7	6	7	1	0
$14^1/_2$	23	42	10	9	6	4	3	12	27	6	5	8	1	0
15	19	37	9	8	8	4	4	10	24	6	4	9	1	1
$15^1/_2$	15	30	8	7	10	5	4	8	20	5	4	11	2	1
16	11	24	7	5	11	5	4	6	16	5	3	13	2	1
$16^1/_2$	8	18	5	4	13	6	5	4	13	4	3	14	3	2
17	6	13	4	4	16	7	5	3	10	4	3	16	4	2
$17^1/_2$	4	9	3	3	18	7	6	2	7	3	3	18	4	3
18	3	6	3	3	20	8	6	1	6	3	3	20	5	3
$18^1/_2$	4	4	3	3	22	9	7	2	5	3	3	22	6	4
19	6	5	3	4	24	9	8	3	5	3	3	24	6	5
$19^1/_2$	8	7	3	4	27	10	8	4	6	3	3	26	7	5
20	11	11	3	5	29	11	9	6	8	3	4	28	8	6
$20^1/_2$	15	15	3	7	30	11	9	8	11	3	4	30	8	6
21	19	21	4	8	32	12	10	10	15	4	5	32	9	7
$21^1/_2$	23	27	5	9	34	12	10	12	18	4	6	33	9	7
22	27	33	7	11	35	12	11	14	22	5	6	34	9	8
$22^1/_2$	30	39	8	12	36	13	11	16	26	5	7	34	10	8
23	32	45	9	12	36	13	12	17	29	6	7	35	10	9
$23^1/_2$	34	49	10	13	37	13	12	18	32	6	7	35	10	9
24	35	54	10	13	37	13	13	19	34	7	7	36	10	10
$24^1/_2$		56	11				13		35	7				10
25		56	11				13		35	7				10

[1] Die Tafelwerte sind in *cm* angegeben. Die unter dem Tidensymbol stehende Zahl bedeutet die Anzahl *cm*, die vom Tafelwert abzuziehen ist, um die Ordinaten bezogen auf den mittleren Wasserstand zu erhalten.

[2] Obige Tafel von Triest wurde von Dr. Hopfner berechnet.

Tabelle III.

Ordinaten der Partialtiden für ganze und halbe Stunden.[1]

Ganze und halbe Stunden	S_2 (+ 6)	M_2 (+ 15)	N (+ 2)	K_2 (+ 2)	K_1 (+ 15)	P (+ 5)	O (+ 5)	S_2 (+ 5)	M_2 (+ 10)	N (+ 5)	K_2 (+ 5)	K_1 (+ 20)	P (+ 5)	O (+ 10)
	Fiume und Zengg							Hafen Cigale (I. Lussin)						
−½	11	25	4	4	29	9	9	9	18	6½	7½	35½	10	15
0	**12**	**25**	**4**	**4**	**29**	**9**	**9**	**9½**	**18½**	**6½**	**7½**	**35½**	**10**	**15**
½	11	25	4	4	29	9	9	9	18	6½	7½	35½	10	15
1	**11**	**24**	**4**	**4**	**28**	**9**	**9**	**9**	**17½**	**6½**	**7**	**35**	**9½**	**15**
1½	10	22	3	3	28	9	9	8	16	6	6½	34½	9½	15
2	**9**	**20**	**3**	**3**	**27**	**9**	**8**	**7**	**14½**	**5½**	**6**	**33½**	**9**	**14½**
2½	7	18	2	2	26	8	8	6	12½	5½	5½	32	9	14
3	**6**	**15**	**2**	**2**	**25**	**8**	**8**	**5**	**10½**	**5**	**5**	**31**	**8½**	**14**
3½	4	13	1	1	23	8	8	4	8	5	4½	29	8	13½
4	**3**	**10**	**1**	**1**	**22**	**7**	**7**	**3**	**6**	**4½**	**4**	**27½**	**7½**	**13**
4½	2	8	1	1	20	7	7	2	4½	4	3½	25½	7	12½
5	**1**	**6**	**0**	**0**	**18**	**6**	**6**	**1**	**3**	**4**	**3**	**24**	**6**	**12**
5½	0	5	0	0	17	6	6	1	2	3½	2½	22	5½	11½
6	**0**	**5**	**0**	**0**	**15**	**5**	**5**	**½**	**1½**	**3½**	**2½**	**20**	**5**	**10½**
6½	0	5	0	0	13	4	5	1	1½	3½	2½	18	4½	10
7	**1**	**6**	**0**	**0**	**11**	**4**	**4**	**1**	**2**	**3½**	**3**	**16**	**4**	**9½**
7½	2	7	0	1	10	3	4	2	3	4	3½	14	3	8½
8	**3**	**9**	**1**	**1**	**8**	**3**	**3**	**3**	**4½**	**4**	**4**	**12**	**2½**	**8**
8½	4	11	1	1	6	2	3	4	6½	4½	4½	10½	2	7½
9	**6**	**13**	**1**	**2**	**5**	**2**	**3**	**5**	**8½**	**4½**	**5**	**9**	**1½**	**7**
9½	7	16	2	2	4	2	2	6	11	5	5½	7½	1	6½
10	**9**	**19**	**2**	**3**	**3**	**1**	**2**	**7**	**13**	**5½**	**6**	**6½**	**1**	**6**
10½	10	21	3	3	2	1	2	8	15	5½	6½	5½	½	6
11	**11**	**23**	**3**	**3**	**1**	**1**	**1**	**9**	**16½**	**6**	**7**	**5**	**½**	**5½**
11½	11	24	4	4	1	1	1	9	17½	6	7½	4½	0	5
12	**12**	**25**	**4**	**4**	**1**	**1**	**1**	**9½**	**18½**	**6½**	**7½**	**4½**	**0**	**5**
12½	11	25	4	4	1	1	1	9	18½	6½	7½	4½	0	5
13	**11**	**25**	**4**	**4**	**1**	**1**	**1**	**9**	**18**	**6½**	**7**	**5**	**½**	**5**
13½	10	24	4	3	2	1	1	8	17½	6½	6½	6	½	5
14	**9**	**22**	**4**	**3**	**3**	**1**	**1**	**7**	**16**	**6**	**6**	**6½**	**1**	**5**
14½	7	20	3	2	4	1	1	6	14½	6	5½	8	1	5
15	**6**	**17**	**3**	**2**	**5**	**2**	**1**	**5**	**12½**	**5½**	**5**	**9**	**1½**	**5½**
15½	4	15	2	1	7	2	2	4	10	5½	4½	10½	2	6
16	**3**	**12**	**2**	**1**	**8**	**2**	**2**	**3**	**8**	**5**	**3½**	**12½**	**2½**	**6½**
16½	2	10	1	1	10	3	2	2	6	4½	3	14½	3	7
17	**1**	**8**	**1**	**0**	**12**	**3**	**3**	**1**	**4**	**4**	**3**	**16**	**4**	**7**
17½	0	6	0	0	13	4	3	1	3	4	2½	18	4½	7½
18	**0**	**5**	**0**	**0**	**15**	**5**	**3**	**½**	**2**	**3½**	**2½**	**20½**	**5**	**8½**
18½	0	5	0	0	17	6	4	1	1½	3½	2½	22½	5½	9
19	**1**	**5**	**0**	**0**	**19**	**6**	**4**	**1**	**1½**	**3½**	**3**	**24**	**6**	**9½**
19½	2	5	0	1	21	7	5	2	2	3½	3½	26	6½	10
20	**3**	**7**	**0**	**1**	**22**	**7**	**6**	**3**	**3½**	**3½**	**4**	**28**	**7½**	**10½**
20½	4	9	0	1	24	8	6	4	5	4	4½	29½	8	11½
21	**6**	**11**	**1**	**2**	**25**	**8**	**7**	**5**	**7**	**4½**	**5**	**31**	**8½**	**12**
21½	7	14	1	2	26	8	7	7	9	4½	5½	32½	8½	12½
22	**9**	**17**	**2**	**3**	**27**	**9**	**7**	**7**	**11**	**5**	**6**	**33½**	**9**	**13**
22½	10	19	2	3	28	9	8	8	13½	5½	6½	34½	9½	13½
23	**11**	**21**	**3**	**3**	**29**	**9**	**8**	**9**	**15**	**5½**	**7**	**35**	**9½**	**14**
23½	11	23	3	4	29	9	8	9	16½	6	7½	35½	10	14
24	**12**	**24**	**3**	**4**	**29**	**9**	**9**	**9**	**17½**	**6**	**7½**	**35½**	**10**	**14½**
24½		25	4				9		18½	6½				15
25		**25**	**4**				**9**		**18½**	**6½**				**15**

[1] Siehe Fußnote auf p. 80.

Tabelle III.

Ordinaten der Partialtiden für ganze und halbe Stunden.[1]

Ganze und halbe Stunden	S_2 (+5)	M_2 (+5)	N (+2)	K_2 (+2)	K_1 (+16)	P (+5)	O (+5)	S_2 (+5)	M_2 (+10)	N (+5)	K_2 (+5)	K_1 (+15)	P (+5)	O (+5)
	Hafen Pantera (Sp. Punte Bianche, I. Grossa)							Zara						
—½	8½	9½	3	3	28	8½	8½	8	16½	6	6	28	9	9½
0	8½	9½	3	3	28	8½	9	8	16½	6	6	28	9	9½
½	8½	9½	3	3	28	8½	8½	8	16½	6	6	28	9	9½
1	8	9	2½	3	27½	8	8½	8	15½	6	6	27½	9	9
1½	7½	8	2½	2½	27	8	8½	7½	14½	6	5½	27	9	9
2	6½	7½	2½	2½	26½	8	8	6½	13	5½	5½	26½	8½	9
2½	6	6½	2	2½	25½	7½	8	6	12	5½	5½	25½	8½	8½
3	5	5½	2	2	24½	7½	8	5	10½	5	5	24½	8	8½
3½	4	4	2	1½	23½	6	7½	4	8½	5	4½	23	7½	8
4	3½	3	2	1½	22	6½	7	3½	7½	4½	4½	21½	7	7½
4½	2½	2	1½	1½	20½	6½	6½	2½	6	4½	4½	20	6½	7
5	2	1	1½	1	19	6	6½	2	5	4	4	18½	6	6½
5½	1½	½	1	1	17½	5½	6	2	4	4	4	16½	5½	6
6	1½	½	1	1	16	5	5½	2	3½	4	4	15	5	5½
6½	1½	½	1	1	14½	4½	5	2	3½	4	4	13	4½	5
7	2	1	1	1	13	4	4½	2	4	4	4	11½	4	4½
7½	2½	1½	1½	1½	11½	3½	4	2½	5	4	4½	10	3½	4
8	3½	2	1½	1½	10	3½	3½	3½	6	4	4½	8½	3	3½
8½	4	3	1½	1½	9	3	3	4	7½	4½	5	7	2½	3
9	5	4½	2	2	7½	2½	2½	5	9	4½	5	5½	2	2½
9½	6	5½	2	2½	6½	2½	2½	6	10½	5	5½	4½	1½	2
10	6½	6½	2	2½	5½	2	2	6½	12	5½	5½	3½	1½	1½
10½	7½	7½	2½	2½	5	2	2	7½	13½	5½	5½	3	1½	1½
11	8	8½	2½	3	4½	1½	1½	8	14½	5½	6	2½	1	1
11½	8½	9	2½	3	4	1½	1½	8	15½	6	6	2	1	1
12	8½	9½	2½	3	4	1½	1½	8	16½	6	6	2	1	½
12½	8½	9½	2½	3	4	1½	1	8	16½	6	6	2	1	½
13	8	9½	3	3	4½	1½	1	8	16	6	6	2½	1	½
13½	7½	9	3	2½	5	2	1½	7½	15½	6	5½	3	1	½
14	6½	8	2½	2½	5½	2	1½	6½	14½	6	5½	4	1½	1
14½	6	7	2½	2½	6½	2½	1½	6	13½	5½	5	5	1½	1
15	5	6	2½	2	7½	2½	2	5	12	5½	5	6	2	1½
15½	4	5	2	1½	8½	3	2	4	10	5	4½	7	2½	1½
16	3½	4	2	1½	10	3	2	3½	8½	5	4½	8½	3	2
16½	2½	3	2	1½	11½	3½	2½	2½	7	4½	4½	10	3½	2
17	2	2	1½	1	13	4	3	2	5½	4½	4	12	4	2½
17½	1½	1	1½	1	14½	4½	3½	2	4½	4	4	13½	4½	3
18	1½	½	1½	1	16	5	4	2	4	4	4	15½	5	3½
18½	1½	½	1	1	17½	5½	4½	2	3½	4	4	17	5½	4
19	2	½	1	1	19½	6	4½	2	3½	4	4	18½	6	4½
19½	2½	1	1	1½	21	6	5	2½	4	4	4½	20½	6½	5
20	3½	1½	1½	1½	22½	6½	5½	3½	5	4	4½	22	7	5½
20½	4	2½	1½	2	23½	7	6	4	6	4	5	23½	7½	6
21	5	3½	1½	2	25	7½	6½	5	7½	4½	5	24½	7½	6½
21½	6	4½	1½	2½	25½	7½	7	6	9	4½	5½	25½	8	7
22	6½	5½	2	2½	26½	8	7	6½	11	5	5½	26½	8½	7½
22½	7½	6½	2	2½	27½	8	7½	7½	12½	5	5½	27	8½	8
23	8	7½	2½	3	27½	8	8	8	14	5½	6	27½	9	8½
23½	8½	8½	2½	3	28	8½	8	8	15	5½	6	28	9	8½
24	8½	9	2½	3	28	8½	8½	8	15½	6	6	28	9	9
24½		9½	2½				8½		16	6				9
25		9½	3				8½		16½	6				9½

[1] Siehe Fußnote auf p. 254.

Tabelle III.

Ordinaten der Partialtiden für ganze und halbe Stunden.[1]

Ganze und halbe Stunden	S_2 (+5)	M_2 (+5)	N (+2)	K_2 (+3)	K_1 (+15)	P (+5)	O (+5)	S_2 (+10)	M_2 (+10)	N (+5)	K_2 (+5)	K_1 (+10)	P (+5)	O (+5)
	I. Sestrice							Sebenico						
—½	8½	9½	3	4	26½	8½	8½	14	16	6	6½	19	8	8
0	8½	10	3	4	26½	8½	9	14½	16½	6	6½	19	8	8
½	8½	9½	3	4	26½	8½	8½	14	16	6	6½	19	8	8
1	8	9	2½	4	26	8½	8½	14	15½	6	6	19	8	8
1½	7½	8½	2½	3½	25½	8½	8½	13	14½	6	6	18½	8	8
2	7	7½	2½	3½	25	8	8	12	13½	5½	5½	18	7½	7½
2½	6	6½	2	3½	24	8	8	11	12	5½	5½	17	7½	7½
3	5	5½	2	3	23	7½	8	10	10½	5	5	16½	7	7½
3½	4	4	2	2½	22	7	8½	9	8½	5	4½	15½	7	7
4	3	3	2	2½	20½	7	7	8	7½	4½	4½	14½	6½	6½
4½	2½	2	1½	2½	19½	6½	6½	7	6	4½	4	13½	6	6½
5	2	1	1½	2	18	6	6½	6	5	4	4	12½	5½	6
5½	1½	½	1	2	16½	5½	6	6	4	4	3½	11½	5½	6
6	1½	0	1	2	15	5	5½	5½	4	4	3½	10	5	5½
6½	1½	0	1	2	13½	4½	5	6	4	4	3½	8½	4½	5
7	2	½	1	2	12	4	4½	6	4	4	4	7½	4½	4½
7½	2½	1	1½	2½	10½	3½	4	7	5	4	4	6½	4	4
8	3	2	1½	2½	9	3	3½	8	6	4	4½	5½	3½	4
8½	4	3	1½	2½	8	3	3	9	7½	4½	4½	4½	3½	3½
9	5	4	2	3	7	2½	2½	10	9	4½	5	3½	3	3½
9½	6	5½	2	3½	6	2	2½	11	10½	5	5½	2½	2½	3
10	7	6½	2	3½	5	2	2	12	12	5½	5½	2	2½	3
10½	7½	7½	2½	3½	4½	2	2	13	13½	5½	6	1½	2½	2½
11	8	8½	2½	4	4	1½	1½	14	14½	5½	6	1	2	2½
11½	8½	9½	2½	4	3½	1½	1½	14	15½	6	6½	1	2	2
12	8½	9½	2½	4	3½	1½	1½	14½	16	6	6½	1	2	2
12½	8½	10	2½	4	3½	1½	1	14	16½	6	6½	1	2	3
13	8	9½	3	4	4	1½	1	14	16	6	6	1	2	2
13½	7½	9	3	3½	4½	1½	1½	13	15½	6	6	1½	2½	2
14	7	8½	2½	3½	5	2	1½	12	14½	6	6	2	2½	2
14½	6	7½	2½	3½	6	2	1½	11	13	5½	5½	3	2½	2
15	5	6	2½	3	7	2½	2	10	11½	5½	5	3½	3	2½
15½	4	5	2	2½	8	2½	2	9	10	5	4½	4½	3	2½
16	3	4	2	2½	9½	3	2	8	9	5	4½	5½	3½	3
16½	2½	3	2	2½	11	3½	2½	7	7½	4½	4	6½	4	3
17	2	2	1½	2	12½	4	3	6	6	4½	4	8	4½	3½
17½	1½	1	1½	2	14	4½	3½	6	5	4	3½	9	4½	3½
18	1½	½	1½	2	15	5	4	5½	4	4	3½	10	5	4
18½	1½	0	1	2	16½	5½	4½	6	3½	4	3½	11½	5½	4½
19	2	0	1	2	18	6	4½	6	3½	4	4	12½	5½	4½
19½	2½	½	1	2½	19½	6½	5	7	4½	4	4	13½	6	5
20	3	1½	1½	2½	21	7	5½	8	5½	4	4½	14½	6½	5½
20½	4	2	1½	3	22	7	6	9	6½	4½	4½	15½	6½	6
21	5	3	1½	3	23	7½	6½	10	8	4½	5	16½	7	6
21½	6	4½	1½	3½	24	8	7	12	9	4½	5½	17½	7	6½
22	7	5½	2	3½	25	8	7	12	11	5	5½	18	7½	7
22½	7½	7	2	3½	25½	8	7½	13	12½	5	6	18½	7½	7
23	8	8	2½	4	26	8½	8	14	13½	5½	6	19	7½	7½
23½	8½	8½	2½	4	26½	8½	8	14	15	5½	6½	19	8	7½
24	8½	9½	2½	4	26½	8½	8½	14½	15½	6	6½	19	8	8
24½		9½	2½				8½		16	6				
25		10	3				8½		16½	6				

[1] Siehe Fußnote auf p. 254.

Tabelle III.

Ordinaten der Partialtiden für ganze und halbe Stunden.[1]

Ganze und halbe Stunden	S_2 (+10)	M_2 (+10)	N (+5)	K_2 (+5)	K_1 (+10)	P (+5)	O (+5)	S_2 (+10)	M_2 (+10)	N (+5)	K_2 (+5)	K_1 (+10)	P (+5)	O (+5)
	Rogoznica							Comisa (I. Lissa)						
—½	14½	16½	6	6½	19	8	8	15	17	6½	6½	17½	7½	7½
0	14½	16½	6	6½	19	8	8	15	17½	6½	6½	18	7½	7½
½	14½	16½	6	6½	19	8	8	15	17	6½	6½	17½	7½	7½
1	14	15½	6	6	18½	7½	8	14½	16½	6	6	17½	7½	7½
1½	13½	14½	6	6	18½	7½	8	13½	15½	6	6	17½	7	7½
2	12½	13	5½	5½	18	7½	7½	12½	13½	5½	5½	16½	7	7
2½	11	12	5½	5½	17	7½	7½	11½	12	5½	5½	16	7	7
3	10	10½	5	5	16½	7	7½	10	10½	5	5	15½	6½	7
3½	9	8½	5	4½	15½	7	7	8½	8½	5	4½	14½	6½	6½
4	8	7½	4½	4½	14½	6½	6½	7½	7	4½	4½	14	6	6½
4½	7	6	4½	4	13½	6	6½	6½	5	4	4	13	6	6
5	6	5	4	4	12½	5½	6	5½	4	4	4	12	5½	6
5½	5½	4	4	3½	11	5½	6	5	3	4	3½	11	5½	5½
6	5½	3½	4	3½	10	5	5½	5	2½	3½	3½	10	5	5½
6½	5½	3½	4	3½	9	4½	5	5	2½	3½	3½	9	4½	5
7	6	4	4	4	7½	4½	4½	5½	3	4	4	8	4½	4½
7½	6½	5	4	4	6½	4	4	6½	4	4	4	7	4	4½
8	7½	6	4	4½	5½	3½	4	7½	5½	4	4½	6	4	4
8½	9	7½	4½	4½	4½	3½	3½	8½	7	4½	4½	5	3½	4
9	10	9	4½	5	3½	3	3½	10	9	4½	5	4½	3½	3½
9½	11	10½	5	5½	3	2½	3	11½	10½	5	5½	3½	3	3½
10	12½	12	5½	5½	2	2½	3	12½	12½	5½	5½	3	3	3
10½	13½	13½	5½	6	1½	2½	2½	13½	14	5½	6	2½	3	3
11	14	14½	5½	6	1½	2	2½	14½	15½	6	6	2½	3	3
11½	14½	15½	6	6½	1	2	2	15	16½	6	6½	2½	2½	2½
12	14½	16½	6	6½	1	2	2	15	17	6	6½	2	2½	2½
12½	14½	16½	6	6½	1	2	2	15	17½	6½	6½	2½	2½	2½
13	14	16	6	6	1½	2	2	14½	17	6½	6	2½	2½	2½
13½	13½	15½	6	6	2	2½	2	13½	16½	6	6	3	3	2½
14	12½	14½	6	5½	2½	2½	2	12½	15	6	5½	3½	3	2½
14½	11	13½	5½	5½	3	2½	2	11½	13½	6	5½	4	3	2½
15	10	12	5½	5	4	3	2½	10	12	5½	5	4½	3½	3
15½	9	10	5	4½	4½	3	2½	8½	10	5½	4½	5½	3½	3
16	7½	8½	5	4½	5½	3½	3	7½	8½	5	4½	6	4	3
16½	6½	7	4½	4	6½	4	3	6½	6½	4½	4	7	4	3½
17	6	5½	4½	4	7½	4½	3½	5½	5	4½	4	8	4½	3½
17½	5½	4½	4	3½	9	4½	3½	5	4	4	3½	9	4½	4
18	5½	4	4	3½	10	5	4	5	3	4	3½	10	5	4
18½	5½	3½	4	3½	11½	5½	4½	5	2½	3½	3½	11	5	4½
19	6	3½	4	4	12½	5½	4½	5½	3	3½	4	12	5½	4½
19½	6½	4	4	4	13½	6	5	6½	3½	3½	4	13	6	5
20	7½	5	4	4½	14½	6½	5½	7½	4½	4	4½	14	6	5½
20½	9	6	4	4½	15½	6½	6	8½	6	4	4½	15	6½	5½
21	10	7½	4½	5	16½	7	6	10	7½	4½	5	15½	6	6
21½	11	9	4½	5½	17	7	6½	11½	9	4½	5½	16	7	6½
22	12½	11	5	5½	18	7½	7	12½	11	5	5½	17	7	6½
22½	13½	12½	5	6	18½	7½	7	13½	12½	5	6	17½	7	7
23	14	14	5½	6	18½	7½	7½	14½	14½	5½	6	17½	7½	7
23½	14½	15	5½	6½	19	8	7½	15	15½	5½	6½	17½	7½	7
24	14½	15½	6	6½	19	8	7½	15	17	6	6½	18	7½	7½
24½		16	6				8		17	6				7½
25		16½	6				8		17½	6½				7½

[1] Siehe Fußnote auf p. 80.

Tabelle III.

Ordinaten der Partialtiden für ganze und halbe Stunden.[1]

Ganze und halbe Stunden	S_2 (+ 10)	M_2 (+ 10)	N (+ 5)	K_2 (+ 5)	K_1 (+ 10)	P (+ 5)	O (+ 5)	S_2 (+ 10)	M_2 (+ 10)	N (+ 5)	K_2 (+ 5)	K_1 (+ 10)	P (+ 5)	O (+ 5)
	I. Pelagosa							Ragusa						
−½	15½	16	6½	6½	16	7½	7	15½	19	6½	6½	15	6½	7
0	15½	16½	6½	6½	16	7½	7	16	19½	6½	6½	15	6½	7
½	15½	16	6½	6½	16	7½	7	15½	19	6½	6½	15	6½	7
1	15	15½	6½	6½	16	7½	7	15	18	6½	6½	15	6½	7
1½	14	14½	6	6	15½	7	7	14	16½	6	6	14½	6½	7
2	13	13½	6	6	15½	7	7	13	15	5½	6	14½	6½	7
2½	11½	12	5½	5½	15	7	7	11½	13	5½	5½	14	6½	7
3	10	10½	5	5	14½	6½	6½	10	10½	5	5	13½	6	6½
3½	8½	8½	4½	4½	13½	6½	6½	8½	8	5	4½	13	6	6½
4	7	7½	4½	4	13	6	6	7	6	4½	4	12½	6	6
4½	6	6	4	4	12½	6	6	6	4	4	4	12	5½	6
5	5	5	3½	3½	11½	6	6	5	2½	4	3½	11½	5½	6
5½	4½	4	3½	3½	11	5½	5½	4½	1½	3½	3½	10½	5½	5½
6	4½	4	3½	3½	10	5½	5½	4	1	3½	3½	10	5	5½
6½	4½	4	3½	3½	9	5	5	4½	1	3½	3½	9½	4½	5
7	5	4	3½	3½	8½	4½	5	5	1½	3½	3½	8½	4½	5
7½	6	5	3½	4	7½	4½	4½	6	3	4	4	8	4½	4½
8	7	6	4	4	7	4	4	7	4½	4	4	7½	4	4
8½	8½	7½	4	4½	6½	4	4	8½	6½	4½	4½	7	4	4
9	10	9	4½	5	5½	3½	4	10	8½	4½	5	6½	4	4
9½	11½	10½	5	5½	5	3½	3½	11½	11	5	5½	6	3½	3½
10	13	12	5½	6	4½	3	3½	13	13	5½	6	5½	3½	3½
10½	14	13½	6	6	4½	3	3	14	15	5½	6	5½	3½	3
11	15	14½	6	6½	4	3	3	15	17	6	6½	5	3½	3
11½	15½	15½	6½	6½	4	3	3	15½	18	6	6½	5	3½	3
12	15½	16	6½	6½	4	2½	3	16	19	6½	6½	5	3½	3
12½	15½	16½	6½	6½	4	2½	3	15½	19½	6½	6½	5	3½	3
13	15	16	6½	6½	4	2½	3	15	19	6½	6½	5	3½	3
13½	14	15½	6½	6	4½	2½	3	14	18	6½	6	5½	3½	3
14	13	14½	6½	6	4½	3	3	13	16½	6	6	5½	3½	3
14½	11½	13	6	5½	5	3	3	11½	14½	6	5½	6	3½	3
15	10	11½	5½	5	5½	3	3	10	12½	5½	5	6½	4	3
15½	8½	10	5½	4½	6½	3½	3	8½	10	5½	4½	7	4	3
16	7	9	5	4	7	3½	3½	7	8	5	4	7½	4	3½
16½	6	7½	4½	4	8	4	3½	6	6	4½	4	8	4	3½
17	5	6	4	3½	8½	4	4	5	4	4	3½	8½	4½	4
17½	4½	5	4	3½	9½	4½	4	4½	2½	4	3½	9½	4½	4
18	4½	4	3½	3½	10	4½	4½	4	1½	3½	3½	10	5	4½
18½	4½	3½	3½	3½	11	5	4½	4½	1	3½	3½	10½	5	4½
19	5	3½	3½	3½	11½	5	5	5	1	3½	3½	11½	5½	5
19½	6	4½	3½	4	12½	5½	5	6	1½	3½	4	12	5½	5
20	7	5½	3½	4	13	6	5½	7	3	3½	4	12½	6	5½
20½	8½	6½	4	4½	14	6	5½	8½	4½	4	4½	13	6	5½
21	10	8	4	5	14½	6½	6	10	6½	4½	5	13½	6	6
21½	11½	9	4½	5½	15	6½	6	11½	9	4½	5½	14	6½	6
22	13	11	5	6	15½	7	6½	13	11	5	6	14½	6½	6½
22½	14	12½	5½	6	15½	7	6½	14	13½	5½	6	15	6½	6½
23	14½	13½	5½	6½	16	7	6½	15	15½	5½	6½	15	6½	6½
23½	15½	15	6	6½	16	7½	7	15½	17	6	6½	15	6½	7
24	15½	15½	6	6½	16	7½	7	16	18½	6	6½	15	6½	7
24½		16	6½				7		19	6½				7
25		16½	6½				7		19½	6½				7

[1] Siehe Fußnote auf p. 80.

Tabelle III.

Ordinaten der Partialtiden für ganze und halbe Stunden.[1]

Ganze und halbe Stunden	S_2 (+ 10)	M_2 (+ 10)	N (+ 5)	K_2 (+ 5)	K_1 (+ 10)	P (+ 5)	O (+ 5)
Meljine (Golf von Cattaro)							
—½	15½	19	6½	7	15	6½	6½
0	16	19½	6½	7	15	6½	6½
½	15½	19	6½	7	15	6½	6½
1	15	18	6½	7	15	6½	6½
1½	14	16½	6	6½	14½	6½	6½
2	13	15	6	6	14½	6½	6½
2½	11½	13	5½	5½	14	6½	6½
3	10	10½	5	5	13½	6	6
3½	8½	8	4½	4½	13	6	6
4	7	6	4½	4	12½	6	6
4½	6	4	4	3½	12	5½	6
5	5	2½	3½	3	11½	5½	5½
5½	4½	1½	3½	3	10½	5½	5½
6	4	1	3½	3	10	5	5
6½	4½	1	3½	3	9½	4½	5
7	5	1½	3½	3	8½	4½	5
7½	6	3	3½	3½	8	4½	4½
8	7	4½	4	4	7½	4	4½
8½	8½	6½	4	4½	7	4	4
9	10	8½	4½	5	6½	4	4
9½	11½	11	5	5½	6	3½	4
10	13	13	5½	6	5½	3½	4
10½	14	15	6	6½	5½	3½	3½
11	15	17	6	7	5	3½	4
11½	15½	18	6½	7	5	3½	4
12	16	19	6½	7	5	3½	3½
12½	15½	19½	6½	7	5	3½	3½
13	15	19	6½	7	5	3½	3½
13½	14	18	6½	6½	5½	3½	3½
14	13	16½	6½	6	5½	3½	3½
14½	11½	14½	6	5½	6	3½	3½
15	10	12½	5½	5	6½	4	3½
15½	8½	10	5½	4½	7	4	3½
16	7	8	5	4	7½	4	4
16½	6	6	4½	3½	8	4	4
17	5	4	4	3	8½	4½	4
17½	4½	2½	4	3	9½	4½	4
18	4	1½	3½	3	10	5	4½
18½	4½	1	3½	3	10½	5	4½
19	5	1	3½	3	11½	5½	5
19½	6	1½	3½	3½	12	5½	5
20	7	3	3½	4	12½	6	5
20½	8½	4½	4	4½	13	6	5½
21	10	6½	4	5	13½	6	5½
21½	11½	9	4½	5½	14	6½	6
22	13	11	5	6	14½	6½	6
22½	14	13½	5½	6½	15	6½	6
23	15	15½	5½	7	15	6½	6½
23½	15½	17	6	7	15	6½	6½
24	16	18½	6	7	15	6½	6½
24½		19	6½				6½
25		19½	6½				6½

[1] Siehe Fußnote auf p. 254.

Tabelle IV.

Halbmonatliche + tägliche Ungleichheiten für Triest.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12^h																									Mondeskulmination	
		1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.		
h	m																										h	m
0	0	+ 0^{h}9	+ 1^{h}0	+ 1^{h}0	+ 1^{h}0	+ 0^{h}8	+ 0^{h}4	0^{h}0	− 0^{h}2	− 0^{h}4	− 0^{h}5	− 0^{h}5	− 0^{h}4	− 0^{h}2	− 0^{h}1	0^{h}0	0^{h}0	0^{h}0	0^{h}0	0^{h}0	+ 0^{h}1	+ 0^{h}2	+ 0^{h}4	+ 0^{h}7	+ 0^{h}9	+ 0^{h}9	0	0
0	30	+ 0·7	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·5	+ 0·1	− 0·3	− 0·5	− 0·6	− 0·7	− 0·7	− 0·6	− 0·5	− 0·4	− 0·3	− 0·2	− 0·2	− 0·1	− 0·1	0·0	+ 0·2	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·7	0	30
1	0	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·2	− 0·2	− 0·5	− 0·7	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·8	− 0·6	− 0·5	− 0·4	− 0·4	− 0·3	− 0·2	0·0	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·5	1	0
1	30	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·1	− 0·2	− 0·5	− 0·8	− 0·9	− 1·1	− 1·1	− 1·0	− 1·0	− 0·9	− 0·8	− 0·7	− 0·6	− 0·6	− 0·5	− 0·3	− 0·1	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·4	1	30
2	0	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·1	− 0·2	− 0·5	− 0·9	− 1·0	− 1·1	− 1·3	− 1·3	− 1·2	− 1·1	− 1·0	− 0·9	− 0·8	− 0·8	− 0·8	− 0·7	− 0·4	− 0·2	0·0	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·3	2	0
2	30	+ 0·2	0·0	− 0·2	− 0·5	− 0·8	− 1·1	− 1·3	− 1·5	− 1·6	− 1·6	− 1·5	− 1·3	− 1·1	− 1·0	− 0·9	− 0·9	− 0·8	− 0·8	− 0·6	− 0·4	− 0·2	0·0	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·2	2	30
3	0	+ 0·1	− 0·1	− 0·4	− 0·7	− 1·1	− 1·4	− 1·6	− 1·8	− 1·9	− 1·8	− 1·7	− 1·5	− 1·2	− 1·0	− 1·0	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·8	− 0·6	− 0·3	− 0·1	0·0	0·0	+ 0·1	3	0
3	30	+ 0·1	− 0·1	− 0·5	− 0·9	− 1·3	− 1·6	− 1·9	− 2·2	− 2·3	− 2·1	− 2·0	− 1·8	− 1·6	− 1·3	− 1·2	− 1·1	− 1·1	− 1·0	− 0·9	− 0·7	− 0·4	− 0·1	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·1	3	30
4	0	0·0	− 0·2	− 0·6	− 1·1	− 1·5	− 1·8	− 2·2	− 2·5	− 2·6	− 2·5	− 2·3	− 2·0	− 1·7	− 1·5	− 1·4	− 1·3	− 1·2	− 1·1	− 1·1	− 0·9	− 0·5	+ 0·2	+ 0·5	+ 0·3	0·0	4	0
4	30	+ 0·1	− 0·2	− 0·7	− 1·2	− 1·6	− 2·0	− 2·5	− 2·8	− 2·9	− 2·4	− 1·9	− 1·6	− 1·4	− 1·4	− 1·4	—	—	—	− 1·2	− 0·9	− 0·6	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·5	+ 0·1	4	30
5	0	+ 0·2	− 0·2	− 0·8	− 1·3	− 1·8	− 2·3	− 2·8	− 2·8	− 2·7	− 2·3	− 1·9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·1	+ 0·6	+ 0·2	5	0
5	30	+ 0·3	− 0·2	− 0·9	− 1·4	− 1·9	− 2·5	− 3·0	− 3·9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2·1	+ 1·7	+ 1·2	+ 0·7	+ 0·3	5	30
6	0	+ 0·4	− 0·2	− 0·9	− 1·5	− 2·1	− 2·7	− 3·9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4·1	+ 2·7	+ 2·4	+ 1·9	+ 1·4	+ 0·9	+ 0·4	6	0
6	30	+ 0·4	− 0·1	− 0·7	− 1·1	− 0·9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4·1	+ 4·1	+ 3·2	+ 2·4	+ 2·1	+ 1·8	+ 1·4	+ 0·9	+ 0·4	6	30
7	0	+ 0·4	0·0	− 0·4	− 0·3	− 0·1	+ 0·8	+ 0·9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4·1	+ 3·4	+ 2·7	+ 2·3	+ 2·0	+ 1·7	+ 1·3	+ 0·9	+ 0·4	7	0
7	30	+ 0·4	+ 0·2	− 0·1	+ 0·3	+ 0·6	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·1	+ 1·2	—	—	—	—	—	—	+ 3·6	+ 3·3	+ 3·0	+ 2·4	+ 2·0	+ 1·8	+ 1·5	+ 1·2	+ 0·9	+ 0·4	7	30
8	0	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·8	+ 1·1	+ 1·0	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·1	—	—	—	+ 2·7	+ 3·0	+ 2·9	+ 2·5	+ 2·1	+ 1·7	+ 1·5	+ 1·3	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·4	8	0
8	30	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·7	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·2	+ 1·4	+ 1·7	+ 2·2	+ 2·5	+ 2·7	+ 2·6	+ 2·2	+ 1·8	+ 1·5	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·3	8	30
9	0	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·9	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·2	+ 1·4	+ 1·7	+ 2·1	+ 2·3	+ 2·3	+ 2·2	+ 1·9	+ 1·6	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·3	9	0
9	30	+ 0·2	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·9	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·2	+ 1·5	+ 1·7	+ 2·0	+ 2·1	+ 2·0	+ 1·9	+ 1·7	+ 1·4	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·9	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·2	9	30
10	0	+ 0·1	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·9	+ 1·0	+ 1·2	+ 1·5	+ 1·8	+ 1·9	+ 2·0	+ 1·8	+ 1·6	+ 1·4	+ 1·1	+ 0·8	+ 0·5	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·1	10	0
10	30	0·0	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·6	− 0·7	+ 0·7	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·9	+ 1·1	+ 1·4	+ 1·7	+ 1·7	+ 1·8	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·1	+ 0·9	+ 0·6	+ 0·3	+ 0·1	+ 0·1	0·0	0·0	10	30
11	0	− 0·1	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·8	+ 1·0	+ 1·3	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·2	+ 0·8	+ 0·6	+ 0·3	+ 0·1	− 0·1	− 0·1	− 0·1	− 0·1	11	0
11	30	− 0·1	0·0	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·8	+ 1·1	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·6	+ 0·3	+ 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·3	− 0·2	− 0·1	11	30
12	0	− 0·2	− 0·1	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·4	+ 0·7	+ 0·9	+ 0·9	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·4	0·0	− 0·2	− 0·4	− 0·5	− 0·5	− 0·4	− 0·2	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h		3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	15./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12^h																										

Bemerkung: Ist die Zeit der dem Hochwasser unmittelbar vorangehenden oberen oder unteren Mondeskulmination **kleiner als 12^h**, so ist mit dem Datum der oberen Rubrik und mit der Kulminationszeit einzugehen; ist dagegen die Kulminationszeit **größer als 12^h**, so geschieht der Eingang mit dem Datum der unteren Rubrik und mit dem Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h.

Tabelle IV.

Halbmonatliche + tägliche Ungleichheiten für Pola.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination	Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12^h																									Mondeskulmination
	1. I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.	
h m																										h m
0 0	$+1^h3$	$+1^h3$	$+1^h1$	$+0^h8$	$+0^h5$	$+0^h2$	-0^h1	-0^h4	-0^h6	-0^h8	-0^h9	-1^h0	-0^h9	-0^h7	-0^h5	-0^h4	-0^h2	-0^h1	0^h0	$+0^h1$	$+0^h4$	$+0^h7$	$+1^h0$	$+1^h2$	$+1^h3$	0 0
0 30	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·5	+ 0·3	0·0	− 0·2	− 0·7	− 0·9	− 1·1	− 1·2	− 1·2	− 1·1	− 0·9	− 0·7	− 0·6	− 0·4	− 0·3	− 0·1	0·0	+ 0·3	+ 0·6	+ 0·9	+ 1·1	+ 1·2	0 30
1 0	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·6	+ 0·3	0·0	− 0·3	− 0·6	− 0·9	− 1·2	− 1·3	− 1·4	− 1·4	− 1·3	− 1·1	− 0·9	− 0·7	− 0·5	− 0·4	− 0·2	0·0	+ 0·2	+ 0·5	+ 0·8	+ 0·9	+ 0·9	1 0
1 30	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·3	0·0	− 0·2	− 0·6	− 0·9	− 1·2	− 1·4	− 1·6	− 1·6	− 1·6	− 1·4	− 1·3	− 1·0	− 0·9	− 0·7	− 0·5	− 0·3	− 0·1	+ 0·2	+ 0·5	+ 0·7	+ 0·7	+ 0·7	1 30
2 0	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·1	− 0·2	− 0·5	− 0·8	− 1·2	− 1·5	− 1·7	− 1·8	− 1·8	− 1·8	− 1·6	− 1·4	− 1·2	− 1·0	− 0·8	− 0·7	− 0·5	− 0·2	+ 0·1	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·6	2 0
2 30	+ 0·5	+ 0·2	− 0·1	− 0·4	− 0·7	− 1·1	− 1·5	− 1·8	− 2·0	− 2·0	− 2·0	− 2·0	− 1·8	− 1·6	− 1·4	− 1·2	− 1·0	− 0·8	− 0·6	− 0·3	+ 0·1	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·5	2 30
3 0	+ 0·4	0·0	− 0·3	− 0·7	− 1·0	− 1·3	− 1·8	− 2·1	− 2·2	− 2·3	− 2·3	− 2·2	− 2·0	− 1·8	− 1·5	− 1·3	− 1·1	− 0·9	− 0·6	− 0·3	+ 0·1	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·4	3 0
3 30	+ 0·3	− 0·1	− 0·5	− 0·9	− 1·3	− 1·7	− 2·1	− 2·3	− 2·5	− 2·5	− 2·5	− 2·4	− 2·1	− 1·9	− 1·7	− 1·5	− 1·3	− 1·0	− 0·4	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·3	3 30
4 0	+ 0·2	− 0·2	− 0·8	− 1·2	− 1·6	− 2·0	− 2·4	− 2·6	− 2·7	− 2·8	− 2·7	− 2·6	− 2·3	− 2·1	− 1·9	− 1·7	− 1·4	− 1·0	+ 0·3	+ 1·1	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·6	+ 0·2	4 0
4 30	+ 0·2	− 0·3	− 0·9	− 1·4	− 1·8	− 2·3	− 2·7	− 2·9	− 3·0	− 3·0	− 2·9	− 2·7	− 2·5	− 2·3	− 2·0	− 1·8	− 1·5	− 0·8	+ 1·4	+ 2·0	+ 2·2	+ 1·7	+ 1·2	+ 0·6	+ 0·2	4 30
5 0	+ 0·1	− 0·4	− 1·0	− 1·6	− 2·1	− 2·5	− 2·9	− 3·3	− 3·3	− 3·3	− 3·2	− 2·9	− 2·6	—	—	—	—	—	—	+ 2·8	+ 2·4	+ 1·9	+ 1·3	+ 0·7	+ 0·1	5 0
5 30	+ 0·1	− 0·4	− 0·9	− 1·5	− 2·0	− 2·6	− 3·2	− 3·5	− 3·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·5	+ 3·2	+ 2·3	+ 1·8	+ 1·2	+ 0·7	+ 0·1	5 30
6 0	+ 0·1	− 0·3	− 0·8	− 1·2	− 1·8	− 2·4	− 3·4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·6	+ 3·2	+ 2·2	+ 1·7	+ 1·1	+ 0·6	+ 0·1	6 0
6 30	+ 0·2	− 0·2	− 0·6	− 0·8	− 1·2	− 1·4	− 2·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·4	+ 2·9	+ 2·0	+ 1·5	+ 1·0	+ 0·6	+ 0·2	6 30
7 0	+ 0·2	− 0·1	− 0·3	− 0·4	− 0·4	− 0·3	0·0	+ 0·2	+ 0·4	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·3	+ 2·8	+ 2·5	+ 1·8	+ 1·3	+ 0·8	+ 0·5	+ 0·2	7 0
7 30	+ 0·2	0·0	− 0·1	0·0	+ 0·1	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·7	+ 0·9	+ 1·0	—	—	—	—	+ 4·1	+ 3·9	+ 3·4	+ 2·9	+ 2·4	+ 2·2	+ 1·6	+ 1·1	+ 0·7	+ 0·4	+ 0·2	7 30
8 0	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·8	+ 0·9	+ 1·0	+ 1·2	+ 1·4	—	—	+ 3·0	+ 3·4	+ 3·4	+ 2·9	+ 2·5	+ 2·1	+ 1·8	+ 1·3	+ 1·0	+ 0·6	+ 0·3	+ 0·1	8 0
8 30	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·7	+ 0·8	+ 1·0	+ 1·1	+ 1·2	+ 1·5	+ 1·9	+ 2·4	+ 2·8	+ 3·0	+ 3·0	+ 2·5	+ 2·1	+ 1·8	+ 1·5	+ 1·1	+ 0·7	+ 0·4	+ 0·2	+ 0·1	8 30
9 0	0·0	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·8	+ 0·9	+ 1·1	+ 1·2	+ 1·5	+ 1·9	+ 2·4	+ 2·6	+ 2·6	+ 2·6	+ 2·2	+ 1·8	+ 1·5	+ 1·2	+ 0·8	+ 0·5	+ 0·3	+ 0·1	0·0	9 0
9 30	− 0·1	0·0	0·0	+ 0·2	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·7	+ 0·8	+ 1·0	+ 1·2	+ 1·5	+ 1·9	+ 2·2	+ 2·5	+ 2·3	+ 2·2	+ 1·9	+ 1·5	+ 1·2	+ 0·9	+ 0·6	+ 0·3	+ 0·1	− 0·1	− 0·1	9 30
10 0	− 0·2	− 0·2	− 0·1	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·8	+ 1·1	+ 1·5	+ 1·8	+ 2·1	+ 2·2	+ 2·1	+ 1·9	+ 1·6	+ 1·2	+ 0·9	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·1	− 0·1	− 0·2	− 0·2	10 0
10 30	− 0·4	− 0·3	− 0·2	0·0	+ 0·1	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·7	+ 1·0	+ 1·4	+ 1·7	+ 1·9	+ 1·9	+ 1·8	+ 1·6	+ 1·3	+ 0·9	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·1	− 0·1	− 0·3	− 0·4	− 0·4	10 30
11 0	− 0·5	− 0·5	− 0·3	− 0·2	0·0	+ 0·1	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·9	+ 1·2	+ 1·6	+ 1·7	+ 1·7	+ 1·5	+ 1·3	+ 1·0	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·5	− 0·6	− 0·5	11 0
11 30	− 0·7	− 0·6	− 0·4	− 0·3	− 0·2	0·0	+ 0·1	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·8	+ 1·1	+ 1·4	+ 1·5	+ 1·5	+ 1·3	+ 1·1	+ 0·7	+ 0·4	+ 0·1	− 0·1	− 0·4	− 0·6	− 0·7	− 0·8	− 0·7	11 30
12 0	− 0·9	− 0·7	− 0·5	− 0·4	− 0·3	− 0·1	0·0	+ 0·1	+ 0·4	+ 0·6	+ 1·0	+ 1·2	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·1	+ 0·8	+ 0·4	+ 0·2	− 0·1	− 0·4	− 0·6	− 0·8	− 0·9	− 1·0	− 0·9	12 0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h	3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	15./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h
	Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12^h																									

Bemerkung wie auf p. 87.

Tabelle IV.

Halbmonatliche + tägliche Ungleichheiten für Fiume.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12h																									Mondeskulmination	
		1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15. IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.		
h	m																										h	m
0	0	+ 2^{h}0	+ 1^{h}8	+ 1^{h}4	+ 1^{h}0	+ 0^{h}7	+ 0^{h}3	− 0^{h}1	− 0^{h}4	− 0^{h}7	− 0^{h}9	− 1^{h}1	− 1^{h}1	− 1^{h}1	− 1^{h}0	− 0^{h}8	− 0^{h}6	− 0^{h}5	− 0^{h}3	− 0^{h}1	+ 0^{h}1	+ 0^{h}5	+ 0^{h}9	+ 1^{h}5	+ 1^{h}8	+ 2^{h}0	0	0
0	30	+ 1·7	+ 1·4	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·3	0·0	− 0·4	− 0·7	− 1·0	− 1·2	− 1·4	− 1·4	− 1·4	− 1·2	− 1·0	− 0·8	− 0·7	− 0·5	− 0·3	0·0	+ 0·4	+ 0·8	+ 1·4	+ 1·6	+ 1·7	0	30
1	0	+ 1·4	+ 1·1	+ 0·7	+ 0·4	0·0	− 0·3	− 0·7	− 1·0	− 1·3	− 1·5	− 1·6	− 1·6	− 1·6	− 1·4	− 1·2	− 1·0	− 0·8	− 0·6	− 0·4	− 0·1	+ 0·3	+ 0·7	+ 1·3	+ 1·4	+ 1·4	1	0
1	30	+ 1·2	+ 0·9	+ 0·5	+ 0·1	− 0·2	− 0·6	− 1·0	− 1·3	− 1·6	− 1·7	− 1·9	− 1·8	− 1·7	− 1·6	− 1·4	− 1·2	− 1·0	− 0·8	− 0·5	− 0·1	+ 0·4	+ 0·8	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·2	1	30
2	0	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·2	− 0·1	− 0·5	− 0·8	− 1·3	− 1·6	− 1·8	− 2·0	− 2·1	− 2·0	− 1·9	− 1·7	− 1·6	− 1·4	− 1·2	− 0·9	− 0·6	− 0·2	+ 0·4	+ 0·9	+ 1·2	+ 1·3	+ 1·0	2	0
2	30	+ 0·9	+ 0·5	0·0	− 0·4	− 0·7	− 1·1	− 1·6	− 1·9	− 2·1	− 2·3	− 2·4	− 2·3	− 2·1	− 2·0	− 1·8	− 1·6	− 1·4	− 1·1	− 0·7	− 0·2	+ 0·9	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·2	+ 0·9	2	30
3	0	+ 0·7	+ 0·3	− 0·2	− 0·6	− 1·0	− 1·4	− 1·9	− 2·2	− 2·4	− 2·6	− 2·7	− 2·6	− 2·3	− 2·2	− 2·1	− 1·9	− 1·6	− 1·3	− 0·8	− 0·3	+ 1·5	+ 1·6	+ 1·4	+ 1·1	+ 0·7	3	0
3	30	+ 0·6	+ 0·2	− 0·3	− 0·8	− 1·2	− 1·7	− 2·1	− 2·5	− 2·8	− 3·0	− 3·2	− 3·0	− 2·6	− 2·4	− 2·1	− 1·8	− 1·4	− 1·0	− 0·6	—	—	—	+ 1·7	+ 1·2	+ 0·6	3	30
4	0	+ 0·5	+ 0·1	− 0·4	− 1·0	− 1·4	− 1·9	− 2·4	− 2·7	− 3·1	− 3·4	− 3·6	− 3·4	− 2·8	− 2·5	− 2·2	− 1·7	− 1·3	—	—	—	—	—	+ 2·0	+ 1·3	+ 0·5	4	0
4	30	+ 0·5	0·0	− 0·5	− 1·1	− 1·6	− 2·1	− 2·6	− 3·1	− 3·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·7	+ 2·0	+ 1·2	+ 0·5	4	30
5	0	+ 0·5	0·0	− 0·7	− 1·2	− 1·7	− 2·3	− 2·9	− 3·6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4·3	+ 3·0	+ 1·9	+ 1·1	+ 0·5	5	0
5	30	+ 0·5	0·0	− 0·8	− 1·4	− 2·0	− 2·6	− 3·3	− 4·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·9	+ 2·6	+ 1·7	+ 1·1	+ 0·5	5	30
6	0	+ 0·5	0·0	− 0·6	− 1·2	− 1·8	− 2·7	− 4·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·8	+ 2·9	+ 2·3	+ 1·6	+ 1·1	+ 0·5	6	0
6	30	+ 0·5	0·0	− 0·4	− 0·8	− 1·1	− 1·5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·9	+ 3·2	+ 2·5	+ 2·0	+ 1·6	+ 1·0	+ 0·5	6	30
7	0	+ 0·4	+ 0·1	− 0·3	− 0·4	− 0·5	− 0·4	− 0·3	− 0·1	+ 0·1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·3	+ 2·7	+ 2·0	+ 1·7	+ 1·2	+ 0·8	+ 0·4	7	0
7	30	+ 0·3	+ 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·3	− 0·1	0·0	+ 0·3	+ 0·5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2·8	+ 2·3	+ 1·7	+ 1·4	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·3	7	30
8	0	+ 0·2	+ 0·1	− 0·1	− 0·1	− 0·0	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·8	+ 1·1	+ 1·5	—	—	—	—	—	+ 3·3	+ 2·9	+ 2·3	+ 1·9	+ 1·4	+ 1·1	+ 0·7	+ 0·5	+ 0·2	8	0
8	30	+ 0·1	0·0	− 0·1	0·0	+ 0·1	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·6	+ 1·0	+ 1·3	+ 1·6	—	—	—	—	—	+ 2·9	+ 2·5	+ 2·0	+ 1·6	+ 1·2	+ 0·9	+ 0·6	+ 0·3	+ 0·1	8	30
9	0	0·0	− 0·1	− 0·1	0·0	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·6	+ 0·8	+ 1·1	+ 1·4	+ 1·8	—	—	—	+ 3·4	+ 3·0	+ 2·5	+ 2·1	+ 1·6	+ 1·3	+ 0·9	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·2	0·0	9	0
9	30	− 0·2	− 0·2	− 0·1	0·0	+ 0·2	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·7	+ 1·1	+ 1·3	+ 1·7	—	—	—	+ 3·0	+ 2·6	+ 2·1	+ 1·7	+ 1·3	+ 1·0	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·2	0·0	− 0·2	9	30
10	0	− 0·3	− 0·3	− 0·2	0·0	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·6	+ 1·0	+ 1·3	+ 1·7	+ 2·2	+ 2·7	+ 2·8	+ 2·6	+ 2·2	+ 1·8	+ 1·4	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·3	+ 0·1	− 0·1	− 0·2	− 0·3	10	0
10	30	− 0·5	− 0·4	− 0·3	− 0·1	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·5	+ 0·9	+ 1·2	+ 1·7	+ 2·1	+ 2·5	+ 2·6	+ 2·3	+ 1·9	+ 1·5	+ 1·1	+ 0·8	+ 0·4	+ 0·1	− 0·1	− 0·3	− 0·4	− 0·5	10	30
11	0	− 0·6	− 0·5	− 0·4	− 0·3	− 0·1	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·4	+ 0·7	+ 1·1	+ 1·6	+ 2·0	+ 2·3	+ 2·3	+ 2·0	+ 1·7	+ 1·2	+ 0·9	+ 0·5	+ 0·2	− 0·2	− 0·4	− 0·5	− 0·6	− 0·6	11	0
11	30	− 0·8	− 0·7	− 0·6	− 0·4	− 0·3	− 0·1	+ 0·1	+ 0.3	+ 0·6	+ 1·1	+ 1·6	+ 1·9	+ 2·2	+ 2·1	+ 1·8	+ 1·4	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·3	− 0·1	− 0·4	− 0·6	− 0·7	− 0·8	− 0·8	11	30
12	0	− 1·1	− 1·0	− 0·8	− 0·6	− 0·5	− 0·3	− 0·1	+ 0·1	+ 0·5	+ 1·0	+ 1·5	+ 1·8	+ 2·0	+ 1·8	+ 1·4	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·3	− 0·1	− 0·4	− 0·7	− 0·9	− 1·1	− 1·1	− 1·1	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h		3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	16./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12h																										

Bemerkung wie auf p. 87.

Tabelle IV.

Halbmonatliche + tägliche Ungleichheiten für den Hafen Pantera (Sp. Punte Bianche).

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination	Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12^h																									Mondeskulmination
	1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.	
h m																										h m
0 0	—	—	-2^h3	$+1^h7$	$+1^h0$	$+0^h5$	0^h0	-0^h4	-0^h7	-0^h9	-1^h1	-1^h2	-1^h3	-1^h3	-1^h3	-1^h1	-0^h8	-0^h6	-0^h4	0^h0	$+0^h5$	—	—	—	—	0 0
0 30	—	—	+ 2·0	+ 1·2	+ 0·6	+ 0·1	− 0·5	− 0·8	− 1·2	− 1·3	− 1·5	− 1·6	− 1·7	− 1·7	− 1·6	− 1·5	− 1·2	− 0·9	− 0·7	− 0·4	+ 0·2	—	—	—	—	0 30
1 0	—	—	+ 1·4	+ 0·7	+ 0·1	− 0·4	− 0·9	− 1·3	− 1·6	− 1·7	− 1·9	− 1·9	− 2·0	− 2·0	− 1·9	− 1·8	− 1·5	− 1·3	− 1·1	− 0·7	0·0	—	—	—	—	1 0
1 30	—	—	+ 1·1	+ 0·4	− 0·2	− 0·7	− 1·2	− 1·6	− 1·9	− 2·0	− 2·2	− 2·2	− 2·3	− 2·2	− 2·2	− 2·0	− 1·8	− 1·6	− 1·4	—	—	—	—	—	—	1 30
2 0	—	—	+ 0·7	+ 0·1	− 0·5	− 1·0	− 1·5	− 1·8	− 2·2	− 2·3	− 2·5	− 2·5	− 2·5	− 2·5	− 2·4	− 2·3	− 2·1	− 1·9	− 1·6	—	—	—	—	—	—	2 0
2 30	—	—	+ 0·3	− 0·2	− 0·7	− 1·3	− 1·8	− 2·1	− 2·4	− 2·6	− 2·8	− 2·9	− 2·9	− 2·9	− 2·8	− 2·7	− 2·5	− 2·3	− 2·0	—	—	—	—	—	—	2 30
3 0	—	—	− 0·1	− 0·5	− 1·0	− 1·5	− 2·1	− 2·4	− 2·7	− 2·9	− 3·1	− 3·2	− 3·2	− 3·2	− 3·2	− 3·1	− 2·8	− 2·6	− 2·3	—	—	—	—	—	—	3 0
3 30	—	—	− 0·2	− 0·7	− 1·2	− 1·7	− 2·3	− 2·6	− 2·9	− 3·2	− 3·6	− 3·9	− 4·9	− 4·3	− 3·7	− 3·6	− 3·4	− 3·2	− 2·9	—	—	—	—	—	—	3 30
4 0	—	$+1^h2$	− 0·2	− 0·9	− 1·4	− 1·9	− 2·4	− 2·8	− 3·2	− 3·5	− 3·9	− 4·7	− 6·6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4 0
4 30	$+1^h7$	+ 0·8	− 0·3	− 1·0	− 1·6	− 2·1	− 2·7	− 3·2	− 3·4	− 4·0	− 4·8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$+4^h7$	$+1^h7$	4 30
5 0	+ 1·4	+ 0·5	− 0·4	− 1·2	− 1·8	− 2·3	− 3·0	− 3·4	− 3·9	− 4·6	− 5·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4·8	+ 1·4	5 0
5 30	+ 1·2	+ 0·4	− 0·4	− 1·2	− 1·9	− 2·5	− 3·3	− 4·0	− 5·2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$+6^h5$	$+5^h4$	+ 3·8	+ 1·2	5 30
6 0	+ 1·1	+ 0·4	− 0·4	− 1·1	− 1·9	− 2·7	− 3·6	− 4·6	− 6·4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 5·1	+ 3·9	+ 2·7	+ 1·1	6 0
6 30	+ 0·9	+ 0·3	− 0·4	− 0·9	− 1.1	− 2·5	− 3·9	− 5·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4·9	+ 3·8	+ 2·7	+ 1·9	+ 0·9	6 30
7 0	+ 0·7	+ 0·3	− 0·3	− 0·6	− 0·7	− 1·3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 5·9	+ 4·8	+ 3·6	+ 2·4	+ 1·6	+ 1·1	+ 0·7	7 0
7 30	+ 0·6	+ 0·3	− 0·2	− 0·4	− 0·5	− 0·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 5·0	+ 3·9	+ 2·9	+ 2·0	+ 1·3	+ 0·9	+ 0·6	7 30
8 0	+ 0·4	+ 0·2	− 0·1	− 0·2	− 0·4	− 0·4	− 0·5	− 0·3	+ 0·5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4·1	+ 3·1	+ 2·2	+ 1·6	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·4	8 0
8 30	+ 0·3	+ 0·1	− 0·1	− 0·2	− 0·2	− 0·2	− 0·2	+ 0·1	+ 0·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·3	+ 2·5	+ 1·7	+ 1·2	+ 0·7	+ 0·5	+ 0·3	8 30
9 0	+ 0·1	0·0	− 0·1	− 0·1	− 0·1	0·0	+ 0·2	+ 0·4	+ 1·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2·6	+ 1·9	+ 1·3	+ 0·9	+ 0·5	+ 0·2	+ 0·1	9 0
9 30	− 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·3	− 0·2	0·0	+ 0·3	+ 0·6	+ 1·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2·1	+ 1·5	+ 1·0	+ 0·6	+ 0·2	0·0	− 0·1	9 30
10 0	− 0·3	− 0·4	− 0·4	− 0·4	− 0·2	− 0·1	+ 0·4	+ 0·7	+ 1·0	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·1	+ 2·3	+ 1·6	+ 1·1	+ 0·6	+ 0·3	0·0	− 0·2	− 0·3	10 0
10 30	− 0·5	− 0·6	− 0·6	− 0·5	− 0·3	− 0·1	+ 0·3	+ 0·7	+ 1·0	—	—	—	—	—	—	—	+ 2·5	+ 1·8	+ 1·2	+ 0·7	+ 0·3	0·0	− 0·3	− 0·4	− 0·5	10 30
11 0	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·6	− 0·4	− 0·1	0·0	+ 0·6	+ 0·9	—	—	—	—	—	—	—	+ 1·9	+ 1·3	+ 0·8	+ 0·4	− 0·1	− 0·3	− 0·5	− 0·6	− 0·7	11 0
11 30	− 1·0	− 1·0	− 1·0	− 0·8	− 0·6	− 0·4	− 0·2	+ 0·3	+ 0·8	—	—	—	—	—	—	—	+ 1·5	+ 0·9	+ 0·4	0·0	− 0·4	− 0·6	− 0·8	− 0·9	− 1·0	11 30
12 0	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·1	− 0·8	− 0·6	− 0·4	0·0	+ 0·5	—	—	—	—	—	+ 2·3	+ 1·7	+ 1·0	+ 0·5	0·0	− 0·4	− 0·7	− 0·9	− 1·1	− 1·2	− 1·3	12 0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h	3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	15./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h
	Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12^h																									

Bemerkung wie auf p. 261.

Tabelle IV.

Halbmonatliche + tägliche Ungleichheiten für Comisa.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12ʰ																									Mondeskulmination	
		1. I.	15. I.	1./II.	15./II.	1. III.	15./III.	1. IV.	15. IV.	1. V.	15./V.	1. VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1. IX.	15./IX.	1. X.	15. X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1. I.		
h	m																										h	m
0	0	+ 0ʰ4	+ 0ʰ5	+ 0ʰ6	+ 0ʰ6	+ 0ʰ5	+ 0ʰ3	+ 0ʰ2	0ʰ0	− 0ʰ1	− 0ʰ1	− 0ʰ1	0ʰ0	0ʰ0	0ʰ0	0ʰ0	0ʰ0	− 0ʰ1	− 0ʰ2	− 0ʰ3	− 0ʰ4	− 0ʰ4	− 0ʰ3	− 0ʰ2	0ʰ0	+ 0ʰ4	0	0
0	30	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·1	− 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·3	− 0·3	− 0·3	− 0·2	− 0·2	− 0·2	− 0·3	− 0·3	− 0·5	− 0·6	− 0·6	− 0·6	− 0·5	− 0·4	− 0·1	+ 0·2	0	30
1	0	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·1	0·0	− 0·2	− 0·3	− 0·4	− 0·5	− 0·5	− 0·5	− 0·5	− 0·5	− 0·5	− 0·5	− 0·5	− 0·6	− 0·7	− 0·8	− 0·8	− 0·8	− 0·7	− 0·5	− 0·3	+ 0·1	1	0
1	30	0·0	0·0	0·0	− 0·1	− 0·2	− 0·4	− 0·5	− 0·6	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·8	− 0·9	− 1·0	− 1·1	− 1·1	− 1·1	− 0·9	− 0·6	− 0·4	0·0	1	30
2	0	0·0	− 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·5	− 0–6	− 0·8	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 1·0	− 1·0	− 1·1	− 1·2	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·1	− 0·7	− 0·4	0·0	2	0
2	30	− 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·5	− 0·7	− 0·8	− 1·0	− 1·1	− 1·1	− 1·1	− 1·1	− 1·1	− 1·0	− 1·1	− 1·2	− 1·3	− 1·4	− 1·5	− 1·5	− 1·6	− 1·5	− 1·1	− 0·7	− 0·4	− 0·1	2	30
3	0	− 0·2	− 0·3	− 0·5	− 0·7	− 0·9	− 1·0	− 1·2	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·4	− 1·6	− 1·7	− 1·8	− 1·8	− 1·8	− 1·7	− 1·2	− 0·6	− 0·4	− 0·2	3	0
3	30	− 0·2	− 0·3	− 0·5	− 0·8	− 1·0	− 1·2	− 1·3	− 1·4	− 1·5	− 1,5	− 1·5	− 1·5	− 1·5	− 1·5	− 1·7	− 1·9	− 2·0	− 2·1	− 2·1	− 2·0	− 1·7	− 1·1	− 0·5	− 0·3	− 0·2	3	30
4	0	− 0·2	− 0·4	− 0·6	− 0·9	− 1·2	− 1·4	− 1·5	− 1·6	− 1·6	− 1·7	− 1·7	− 1·7	− 1·7	− 1·7	− 1·9	− 2·2	− 2·4	− 2·4	− 2·4	− 2·2	− 1·7	− 1·0	− 0·3	− 0·2	− 0·2	4	0
4	30	+ 0·2	− 0·2	− 0·6	− 0·9	− 1·2	− 1·4	− 1·6	− 1·6	− 1·7	− 1·7	− 1·8	− 1·8	− 1·9	− 2·0	− 2·3	− 2·7	− 2·9	− 3·0	− 3·0	—	—	—	—	—	+ 0·2	4	30
5	0	+ 0·7	0·0	− 0·6	− 1·0	− 1·3	− 1·5	− 1·6	− 1·7	− 1·8	− 1·8	− 1·9	− 2·0	− 2·1	− 2·3	− 2·7	− 3·1	− 3·5	− 3·6	− 3–6	—	—	—	—	—	+ 0·7	5	0
5	30	+ 1·0	+ 0·5	+ 0·1	− 0·3	− 0·7	− 1·0	− 1·4	− 1·5	− 1·6	− 1·7	− 1·8	− 2·1	− 2·5	− 2·9	− 3·4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 1·0	5	30
6	0	+ 1·4	+ 1·1	+ 0·7	+ 0·3	− 0·1	− 0·5	− 1·1	− 1·3	− 1·4	− 1·6	− 1·8	− 2·2	− 2·9	− 3·4	− 4·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 1·4	6	0
6	30	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·1	+ 0·8	+ 0·6	+ 0·3	− 0·1	− 0·4	− 0·8	− 0·9	− 1·3	− 2·7	− 4·1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2·9	+ 2·2	+ 1·5	6	30
7	0	+ 1·7	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·2	+ 1·1	+ 0·8	+ 0·5	+ 0·1	− 0·3	− 0·9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·2	+ 2·8	+ 2·4	+ 2·1	+ 1·7	7	0
7	30	+ 1·6	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·3	+ 1·1	+ 0·9	+ 0·7	+ 0·4	0·0	− 0·6	—	—	—	—	—	—	—	+ 3·3	+ 3·0	+ 2·8	+ 2·4	+ 2·0	+ 1·8	+ 1·6	7	30
8	0	+ 1·6	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·1	+ 0·9	+ 0·7	+ 0·4	− 0·2	− 0·4	− 0·4	—	—	—	+ 3·9	+ 3·2	+ 2·7	+ 2·5	+ 2·3	+ 1·9	+ 1·7	+ 1·6	+ 1·6	8	0
8	30	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·1	+ 1·0	+ 0·9	+ 0·7	+ 0·4	0·0	− 0·1	+ 0·1	—	—	—	+ 3·0	+ 2·6	+ 2·3	+ 2·1	+ 1·9	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·4	8	30
9	0	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·2	+ 1·1	+ 1·1	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·5	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·6	+ 1·1	+ 1·7	+ 1·9	+ 2·0	+ 2·0	+ 1·9	+ 1·7	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·2	+ 1·2	+ 1·3	9	0
9	30	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·0	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·6	+ 1·1	+ 1·5	+ 1·6	+ 1·7	+ 1·7	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·2	+ 1·1	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·1	9	30
10	0	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·6	+ 1·0	+ 1·3	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·9	10	0
10	30	+ 0·7	+ 0·7	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·2	+ 0,2	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·6	+ 0·9	+ 1·1	+ 1·2	+ 1·2	+ 1·1	+ 1·0	+ 0·9	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·7	10	30
11	0	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·1	0·0	0·0	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·6	+ 0·8	+ 1·0	+ 1·0	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·4	11	0
11	30	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·1	0·0	− 0·1	− 0·1	− 0·2	− 0·2	− 0·1	+ 0·1	+ 0·5	+ 0·7	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·2	11	30
12	0	0·0	0·0	0·0	0·0	− 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·4	− 0·4	− 0·3	− 0·2	0·0	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·1	0·0	− 0·1	− 0.1	− 0·1	0·0	0·0	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12ʰ		3. VII.	17. VII.	3./VIII.	17./VIII.	31. VIII.	14./IX.	1. X.	15. X.	31. 10.	14./XI.	1. XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14. II.	3. III.	17./III.	2. IV.	16. IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16. VI.	3. VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12ʰ	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12ʰ																										

Bemerkung wie auf p. 261.

Tabelle IV.

Halbmonatliche + tägliche Ungleichheiten für Ragusa.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12^h																									Mondeskulmination	
		1./I.	15. I.	1. II.	15./II.	1./III.	15./III.	1. IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.		
h	m																										h	m
0	0	0^h0	+ 0^h1	+ 0^h2	+ 0^h2	+ 0^h2	+ 0^h1	0^h0	0^h0	− 0^h1	− 0^h1	0^h0	0^h0	+ 0^h1	+ 0^h1	+ 0^h1	+ 0^h1	0^h0	− 0^h1	− 0^h2	− 0^h2	− 0^h3	− 0^h3	− 0^h2	− 0^h1	0^h0	0	0
0	30	− 0·1	0·0	+ 0·1	0·0	0·0	− 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·3	− 0·3	− 0·2	− 0·2	− 0·1	− 0·1	0·0	− 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·4	− 0·5	− 0·5	− 0·5	− 0·4	− 0·3	− 0·1	0	30
1	0	− 0·2	− 0·1	− 0·1	− 0·1	− 0·2	− 0·3	− 0·4	− 0·5	− 0·6	− 0·5	− 0·4	− 0·3	− 0.3	− 0·2	− 0·2	− 0·3	− 0·4	− 0·5	− 0·6	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·6	− 0·4	− 0·2	1	0
1	30	− 0·3	− 0·2	− 0·2	− 0·3	− 0·4	− 0·5	− 0·6	− 0·7	− 0·8	− 0·7	− 0·6	− 0·5	− 0·5	− 0·4	− 0·4	− 0·5	− 0·6	− 0·8	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·8	− 0·7	− 0·6	− 0·3	1	30
2	0	− 0·4	− 0·4	− 0·4	− 0–5	− 0·6	− 0·7	− 0·8	− 0·9	− 0·9	− 0·9	− 0·8	− 0·7	− 0·6	− 0·6	− 0·6	− 0·7	− 0·9	− 1·0	− 1·2	− 1·2	− 1·1	− 1·0	− 0·9	− 0·7	− 0·4	2	0
2	30	− 0·5	− 0·5	− 0·6	− 0·7	− 0·8	− 0·9	− 1·0	− 1·1	− 1·1	− 1·0	− 0·9	− 0·9	− 0·8	− 0·8	− 0·8	− 0·9	− 1·1	− 1·3	− 1·4	− 1·4	− 1·3	− 1·1	− 0·9	− 0·7	− 0·5	2	30
3	0	− 0·6	− 0·6	− 0·7	− 0·8	− 1·0	− 1·1	− 1·2	− 1·2	− 1·2	− 1·2	− 1·1	− 1·0	− 1·0	− 1·0	− 1·0	− 1·1	− 1·4	− 1·6	− 1·7	− 1·6	− 1·4	− 1·2	− 1·0	− 0·7	− 0·6	3	0
3	30	− 0·6	− 0·7	− 0·8	− 0·9	− 1·1	− 1·2	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·3	− 1·2	− 1·1	− 1·1	− 1·1	− 1·1	− 1·3	− 1·6	− 1·9	− 2·0	− 1·9	− 1·4	− 1·1	− 0·8	− 0·7	− 0·6	3	30
4	0	− 0·6	− 0·7	− 0·9	− 1·0	− 1·2	− 1·3	− 1·4	− 1·4	− 1·4	− 1·3	− 1·3	− 1·2	− 1·2	− 1·2	− 1·3	− 1·5	− 1·9	− 2·2	− 2·4	− 2·1	− 1·3	− 0·9	− 0·7	− 0·6	− 0·6	4	0
4	30	− 0·4	− 0·5	− 0·8	− 0·9	− 1·1	− 1·2	− 1·4	− 1·4	− 1·3	− 1·2	− 1·2	− 1·2	− 1·3	− 1·4	− 1·5	− 1·8	− 2·3	− 2·5	− 2·1	− 1·4	− 0·6	− 0·3	− 0·1	− 0·2	− 0·4	4	30
5	0	− 0·1	− 0·3	− 0·6	− 0·8	− 1·0	− 1·2	− 1·3	− 1·3	− 1·2	− 1·2	− 1·1	− 1·2	− 1·3	− 1·5	− 1·8	− 2·1	− 2·8	− 2·8	− 1·8	− 0·8	0·0	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·3	− 0·1	5	0
5	30	+ 0·3	+ 0·1	− 0·2	− 0·4	− 0·6	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·7	− 0·9	− 1·0	− 1·2	− 1·4	− 1·7	—	—	—	—	—	+ 1·4	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·3	5	30
6	0	+ 0·7	+ 0·5	+ 0·2	+ 0·1	− 0·1	− 0·2	− 0·1	− 0·1	− 0·1	− 0·3	− 0·6	− 0·8	− 1·0	− 1·3	− 1·7	—	—	—	—	—	+ 2·7	+ 2·1	+ 1·5	+ 1·1	+ 0·7	6	0
6	30	+ 1·0	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·1	− 0·1	− 0·4	− 0·7	− 1·0	− 1·2	—	—	—	—	—	+ 2·4	+ 2·0	+ 1·6	+ 1·3	+ 1·0	6	30
7	0	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·5	+ 1·7	+ 1·6	+ 1·4	+ 1·2	+ 0·9	+ 0·6	+ 0·3	0·0	− 0·3	− 0·6	− 0·8	+ 0·3	+ 2·2	+ 2·7	+ 2·7	+ 2·5	+ 2·2	+ 2·0	+ 1·7	+ 1·5	+ 1·4	7	0
7	30	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·5	+ 1·6	+ 1·6	+ 1·6	+ 1·4	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·7	+ 0·5	+ 0·3	+ 0·1	0·0	− 0·1	+ 0·7	+ 2·1	+ 2·4	+ 2·4	+ 2·2	+ 1·9	+ 1·7	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·4	7	30
8	0	+ 1·4	+ 1·5	+ 1·6	+ 1·6	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·5	+ 1·1	+ 2·0	+ 2·1	+ 2·0	+ 1·8	+ 1·6	+ 1·5	+ 1.5	+ 1·4	+ 1·4	8	0
8	30	+ 1·2	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·5	+ 1·4	+ 1·4	+ 1·2	+ 1·1	+ 0·9	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·7	+ 1·1	+ 1·8	+ 1·9	+ 1·8	+ 1·6	+ 1·4	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·2	8	30
9	0	+ 1·1	+ 1·2	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·1	+ 1·0	+ 0·8	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·8	+ 1·1	+ 1·6	+ 1·6	+ 1·5	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·1	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·1	9	0
9	30	+ 1·0	+ 1·0	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·1	+ 1·0	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·8	+ 1·0	+ 1·3	+ 1·3	+ 1·2	+ 1·1	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·9	+ 1·0	9	30
10	0	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·7	+ 0·9	+ 1·1	+ 1·0	+ 0·9	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·7	+ 0·7	+ 0·7	+ 0·8	10	0
10	30	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·7	+ 0·8	+ 0·8	+ 0·7	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·5	+ 0·6	10	30
11	0	+ 0·4	0·4	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·2	0·0	0·0	0·0	+ 0·1	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·5	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·6	+ 0·5	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·4	11	0
11	30	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·1	0·0	0·0	− 0·1	− 0·2	− 0·1	0·0	+ 0·2	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·3	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·2	11	30
12	0	+ 0·1	+ 0·1	+ 0·1	+ 0.1	0·0	− 0·1	− 0·2	− 0·2	− 0·3	− 0·3	− 0·2	− 0·1	0·0	+ 0·1	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·2	+ 0·1	0·0	0·0	− 0·1	− 0·1	0·0	0·0	+ 0·1	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h		3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	16./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12^h																										

Bemerkung wie auf p. 87.

Tabelle V.

Höhe des Hochwassers über Mittelwasser für Triest.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12h																									Mondeskulmination	
		1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.		
h	m	cm																									h	m
0	0	33	37	42	46	50	52	53	53	54	52	49	46	44	44	44	43	42	40	37	34	30	29	28	30	33	0	0
0	30	35	40	44	48	51	52	53	53	52	50	47	44	42	42	43	42	42	39	36	32	29	29	29	31	35	0	30
1	0	36	41	45	48	51	52	53	52	50	47	44	42	40	41	41	40	40	37	34	30	27	28	29	32	36	1	0
1	30	36	40	44	47	49	50	51	50	48	45	41	39	38	38	38	37	37	34	31	28	25	27	28	32	36	1	30
2	0	36	40	44	46	47	47	48	47	45	42	39	37	36	35	35	34	34	31	27	25	23	25	27	31	36	2	0
2	30	36	39	43	44	45	45	45	44	42	39	35	34	33	32	32	31	30	27	24	23	22	25	27	31	36	2	30
3	0	35	38	42	42	42	42	42	41	39	35	31	30	30	29	28	27	26	23	20	20	20	23	27	31	35	3	0
3	30	35	38	40	40	40	39	38	36	33	30	26	25	25	24	24	23	22	20	18	18	18	22	26	30	35	3	30
4	0	34	36	37	39	38	36	34	31	27	25	21	20	19	19	19	18	18	17	15	16	16	20	25	30	34	4	0
4	30	33	34	35	35	34	31	28	25	21	28	15	14	13	13	12	—	—	—	10	12	14	20	26	30	33	4	30
5	0	32	33	33	32	30	27	24	20	16	13	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	22	27	29	32	5	0
5	30	32	32	31	29	26	23	19	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	24	28	30	32	5	30
6	0	31	30	28	25	21	17	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	19	22	26	29	30	31	6	0
6	30	32	29	27	23	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	15	20	24	27	29	32	32	32	6	30
7	0	33	30	26	21	16	13	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	20	24	28	31	32	34	34	33	7	0
7	30	35	31	28	23	17	16	14	12	10	—	—	—	—	—	—	13	20	25	28	32	35	36	37	36	35	7	30
8	0	37	33	29	25	21	20	19	17	14	13	11	—	—	—	13	18	23	27	32	36	39	39	40	39	37	8	0
8	30	38	35	31	29	26	24	23	21	18	16	15	15	16	16	17	22	28	32	37	40	42	42	42	40	38	8	30
9	0	40	27	33	31	30	20	27	24	22	19	16	15	15	18	21	26	32	36	41	43	45	44	44	42	40	9	0
9	30	42	39	36	35	34	33	31	28	26	22	18	19	19	22	26	31	36	40	45	47	48	48	47	44	42	9	30
10	0	43	41	39	38	38	36	34	32	29	25	21	22	23	25	30	35	40	44	48	49	50	50	49	46	43	10	0
10	30	44	43	41	40	40	38	36	33	30	27	23	25	26	28	33	38	43	47	50	51	52	51	50	47	44	10	30
11	0	45	44	43	42	41	40	38	35	31	28	25	27	28	31	36	41	46	49	51	52	53	52	51	48	45	11	0
11	30	45	44	44	48	41	39	38	35	31	29	27	29	30	34	39	44	48	50	52	52	53	52	50	47	45	11	30
12	0	44	44	44	43	42	40	37	34	31	29	28	30	33	37	42	46	50	52	53	53	53	51	49	46	44	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h		3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	15./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12h																										

Bemerkung wie auf p. 87.

Tabelle V.

Höhe des Hochwassers über Mittelwasser für Pola.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12h																									Mondeskulmination	
		1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.		
h	m	cm																									h	m
0	0	17	20	23	26	28	30	33	34	35	36	35	34	32	31	29	27	24	22	19	17	14	13	13	14	17	0	0
0	30	18	21	24	27	29	31	33	34	35	35	34	33	31	30	27	25	22	20	17	15	13	12	13	15	18	0	30
1	0	19	22	25	27	29	31	33	34	34	34	33	32	30	28	26	23	21	18	16	14	12	12	14	16	19	1	0
1	30	19	22	25	27	29	31	32	33	33	32	31	30	28	26	23	21	19	16	14	12	11	12	14	16	19	1	30
2	0	20	22	25	27	29	30	31	32	32	31	29	28	26	24	21	19	17	14	12	11	11	12	14	17	20	2	0
2	30	20	22	25	26	28	29	30	30	30	28	26	25	23	21	18	16	14	12	10	9	10	12	14	17	20	2	30
3	0	20	22	25	26	27	28	29	29	28	26	24	22	20	18	15	13	10	8	7	7	9	11	15	18	20	3	0
3	30	20	22	24	25	26	27	27	26	25	23	20	18	16	14	11	9	7	6	5	6	8	11	15	18	21	3	30
4	0	21	22	23	24	25	25	24	23	22	19	17	14	11	9	7	5	3	2	2	4	8	12	16	19	21	4	0
4	30	21	22	23	23	23	22	21	20	18	16	13	10	7	4	2	1	—	—	1	4	9	14	17	19	21	4	30
5	0	22	23	23	22	22	21	19	17	15	12	9	6	3	—	—	—	—	—	—	4	11	16	19	20	22	5	0
5	30	22	23	22	21	20	18	16	14	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	9	14	18	20	22	22	5	30
6	0	23	23	22	20	18	16	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	14	18	20	22	23	23	6	0
6	30	25	24	22	20	17	15	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13	17	20	23	24	25	25	6	30
7	0	26	25	22	19	16	13	9	6	3	—	—	—	—	—	—	—	—	13	17	20	23	25	25	26	26	7	0
7	30	28	26	23	20	17	14	11	7	4	2	—	—	—	—	5	8	12	15	19	22	25	27	27	28	28	7	30
8	0	29	27	24	21	18	15	12	9	6	3	1	—	—	3	6	10	14	17	21	24	27	29	30	30	29	8	0
8	30	30	28	25	22	19	17	14	11	8	6	3	2	3	6	9	12	16	20	23	26	29	30	31	31	30	8	30
9	0	31	29	26	23	21	18	16	13	10	8	6	5	5	8	12	15	19	22	26	28	31	32	33	33	31	9	0
9	30	32	30	27	25	22	20	17	14	12	9	7	7	8	11	14	17	21	25	28	30	33	34	34	33	31	9	30
10	0	32	30	28	26	23	21	18	16	13	11	9	9	12	13	17	20	23	27	30	32	35	35	35	34	32	10	0
10	30	33	31	29	26	24	22	19	17	14	12	11	11	13	15	18	22	25	28	31	33	35	36	35	34	33	10	30
11	0	33	31	29	27	25	23	20	18	15	13	12	13	14	17	20	23	27	29	32	34	36	36	36	35	33	11	0
11	30	32	31	29	27	25	23	20	18	15	13	12	14	16	18	21	24	27	30	32	35	36	36	35	34	33	11	30
12	0	32	31	29	27	24	22	19	17	14	13	13	14	17	20	23	26	28	30	33	34	35	36	35	34	32	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h		3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	15./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12h																										

Bemerkung wie auf p. 261.

Tabelle V.

Höhe des Hochwassers über Mittelwasser für Fiume.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12h																									Mondeskulmination	
		1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.		
h	m	*cm*																									h	m
0	0	10	13	15	17	19	22	24	26	27	28	29	27	26	24	22	19	17	14	11	8	6	6	6	8	10	0	0
0	30	11	14	16	18	20	22	24	26	27	28	28	27	25	23	21	19	16	13	10	8	5	6	6	9	11	0	30
1	0	12	14	17	19	21	23	25	26	27	27	27	26	24	22	20	17	15	11	8	7	5	6	7	9	12	1	0
1	30	13	15	17	19	21	22	24	25	25	25	26	24	22	20	18	15	12	10	7	5	4	6	7	10	13	1	30
2	0	13	15	17	19	21	22	24	24	24	24	24	22	20	18	16	13	10	8	5	4	3	6	8	11	13	2	0
2	30	14	16	17	19	20	22	23	23	23	22	22	20	18	15	13	11	8	5	3	3	3	6	9	11	14	2	30
3	0	14	16	18	19	20	21	22	22	22	21	20	17	15	13	11	8	5	3	1	2	3	6	9	12	14	3	0
3	30	15	16	18	19	19	20	20	20	19	18	17	14	12	10	7	5	2	0	−1	—	—	—	11	13	15	3	30
4	0	16	17	18	18	19	19	19	18	17	15	14	11	9	6	4	1	−1	—	—	—	—	—	12	14	16	4	0
4	30	16	17	18	18	18	17	17	16	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13	13	15	16	4	30
5	0	17	17	17	17	17	16	15	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	13	15	16	17	5	0
5	30	18	18	17	16	15	14	12	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	14	16	17	18	5	30
6	0	19	19	17	16	14	12	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	14	16	18	18	19	6	0
6	30	20	19	18	15	13	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	13	16	17	19	20	20	6	30
7	0	21	19	18	15	12	9	6	3	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	15	17	19	21	21	21	7	0
7	30	22	20	18	16	13	10	7	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	16	19	20	22	22	22	7	30
8	0	23	21	19	16	14	11	7	4	1	−1	−3	—	—	—	—	—	10	13	15	18	20	22	24	23	23	8	0
8	30	24	22	20	17	15	12	8	6	2	0	−2	—	—	—	—	—	12	14	17	19	22	23	25	24	24	8	30
9	0	25	23	20	18	16	13	9	7	3	1	−1	—	—	—	7	10	13	16	18	21	23	25	26	25	25	9	0
9	30	25	23	21	19	16	13	10	8	4	3	1	—	—	—	9	12	15	17	20	22	24	26	27	26	25	9	30
10	0	26	24	22	19	17	14	11	8	5	4	2	4	5	8	11	13	16	18	21	23	25	26	27	27	26	10	0
10	30	26	24	22	20	17	14	11	8	6	5	3	5	6	9	12	14	17	19	22	24	26	27	28	27	26	10	30
11	0	26	24	22	20	18	14	11	9	6	5	4	6	8	10	13	16	18	20	23	25	26	27	28	27	26	11	0
11	30	25	24	22	19	17	14	11	8	6	6	5	7	9	12	14	17	19	21	23	25	27	27	28	27	26	11	30
12	0	26	24	22	19	17	14	11	8	6	6	6	8	10	13	15	17	20	22	24	26	27	28	29	27	26	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h		3. VII.	17./VII.	3. VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1. X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1. XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3. III.	17./III.	2./IV.	15./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3. VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12h																										

Bemerkung wie auf p. 261

Tabelle V.

Höhe des Hochwassers über Mittelwasser für den Hafen Pantera (Sp. Punte Bianche).

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination	Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12^h																									Mondeskulmination
	1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.	
h m	cm																									h m
0 0	—	—	3	5	8	12	15	18	21	22	23	23	22	20	18	14	11	7	4	0	— 4	—	—	—	—	0 0
0 30	—	—	3	6	9	12	16	19	21	22	23	23	22	19	17	13	10	6	2	— 1	— 4	—	—	—	—	0 30
1 0	—	—	4	7	10	13	17	19	21	22	23	22	21	18	15	12	8	4	1	— 2	— 5	—	—	—	—	1 0
1 30	—	—	5	8	10	14	17	19	21	22	22	22	20	17	14	10	6	3	— 1	—	—	—	—	—	—	1 30
2 0	—	—	6	9	11	14	17	19	21	21	21	20	19	15	12	8	5	1	— 3	—	—	—	—	—	—	2 0
2 30	—	—	7	9	12	15	17	19	20	20	20	18	17	13	10	6	3	— 1	— 4	—	—	—	—	—	—	2 30
3 0	—	—	8	10	12	15	17	18	19	19	18	16	15	11	8	4	1	— 2	— 6	—	—	—	—	—	—	3 0
3 30	—	—	9	11	13	15	17	17	18	17	16	15	13	9	6	2	— 1	— 4	— 7	—	—	—	—	—	—	3 30
4 0	—	9	10	12	13	15	16	16	16	15	14	13	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4 0
4 30	8	10	11	12	13	14	15	15	15	14	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	8	4 30
5 0	9	10	12	13	13	14	14	13	13	12	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	9	5 0
5 30	10	11	13	13	13	13	12	12	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	10	10	10	5 30
6 0	12	13	13	13	13	12	11	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	10	11	12	6 0
6 30	13	14	14	13	12	11	9	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	10	11	13	13	6 30
7 0	15	15	15	14	12	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	9	9	11	12	14	15	7 0
7 30	16	16	16	14	12	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	9	10	12	14	15	16	7 30
8 0	18	17	16	15	13	9	6	2	— 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	9	11	13	15	16	18	8 0
8 30	19	18	17	15	13	9	5	2	— 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	10	13	15	17	18	19	8 30
9 0	20	19	18	15	13	9	5	2	— 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	11	14	16	18	19	20	9 0
9 30	21	20	18	16	13	9	5	2	— 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	13	15	17	19	20	21	9 30
10 0	22	20	18	16	13	9	5	1	— 2	—	—	—	—	—	—	—	5	8	10	13	17	19	20	21	22	10 0
10 30	22	20	18	15	13	9	5	1	— 3	—	—	—	—	—	—	—	6	9	12	15	18	20	21	22	22	10 30
11 0	22	20	18	15	12	8	4	1	— 3	—	—	—	—	—	—	—	7	10	13	16	19	21	22	22	22	11 0
11 30	22	20	18	15	11	8	4	0	— 3	—	—	—	—	—	—	—	8	11	14	17	20	21	22	22	22	11 30
12 0	22	20	18	14	11	7	4	0	— 4	—	—	—	—	—	3	5	8	12	15	18	21	22	23	23	22	12 0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h	3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	15./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h
	Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12^h																									

Bemerkung wie auf p. 87.

Tabelle V.

Höhe des Hochwassers für Comisa.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12h																									Mondeskulmination	
		1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.		
h	m	*cm*																									h	m
0	0	−1	0	2	5	9	12	15	17	20	21	23	23	24	23	23	21	19	16	13	9	6	3	0	−1	−1	0	0
0	30	−1	1	3	6	9	13	16	18	20	22	23	23	24	23	22	20	18	15	12	8	5	2	−1	−1	−1	0	30
1	0	−1	2	4	7	10	13	16	18	21	22	23	23	23	22	22	19	17	14	11	7	4	1	−1	−1	−1	1	0
1	30	0	2	5	8	11	14	17	18	20	21	22	23	23	22	20	18	16	12	9	6	3	1	−2	−1	0	1	30
2	0	0	3	5	8	11	14	17	18	20	21	22	22	22	21	19	17	14	11	8	5	2	0	−2	−1	0	2	0
2	30	0	3	5	8	11	14	16	18	19	20	21	21	20	19	18	15	13	10	6	3	0	−1	−3	−1	0	2	30
3	0	1	3	6	8	11	14	16	17	19	19	20	19	19	18	16	14	11	8	5	2	−1	−2	−3	−1	1	3	0
3	30	1	3	6	8	11	13	15	16	17	18	18	18	17	16	14	12	9	6	3	0	−3	−3	−3	−1	1	3	30
4	0	1	4	6	9	11	12	14	15	16	16	16	16	15	14	12	10	7	4	1	−1	−4	−4	−3	−1	1	4	0
4	30	2	4	6	8	10	12	13	14	14	14	14	14	13	12	10	8	5	2	−1	—	—	—	—	—	2	4	30
5	0	3	5	7	8	10	11	12	12	13	13	13	12	11	9	8	5	3	0	−2	—	—	—	—	—	3	5	0
5	30	4	6	7	8	9	10	10	11	11	11	10	10	9	7	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	5	30
6	0	6	7	8	8	9	9	9	9	9	9	8	7	6	5	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	6	0
6	30	8	9	9	9	10	10	9	9	8	7	6	5	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	7	8	6	30
7	0	10	10	11	11	11	10	9	8	7	6	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	6	8	9	10	7	0
7	30	12	12	13	13	12	11	10	9	7	5	4	—	—	—	—	—	—	—	2	4	7	8	10	11	12	7	30
8	0	14	14	15	14	14	13	12	9	7	5	3	0	−3	—	—	—	−2	1	3	6	9	10	12	13	14	8	0
8	30	16	16	16	16	16	14	12	10	8	5	2	0	−3	—	—	—	−1	2	5	8	11	12	14	15	16	8	30
9	0	18	18	18	18	17	15	13	10	8	5	2	−1	−3	−3	−3	−1	1	4	7	10	12	14	16	17	18	9	0
9	30	20	20	19	19	18	16	13	11	8	5	2	−1	−3	−3	−2	0	3	6	9	11	14	16	18	19	20	9	30
10	0	21	21	21	20	19	16	14	11	8	5	1	−1	−3	−2	−1	1	4	7	10	13	16	18	19	20	21	10	0
10	30	22	22	21	20	19	16	14	11	7	4	1	−1	−2	−1	0	3	5	9	12	15	17	19	21	21	22	10	30
11	0	23	23	22	21	19	16	14	10	7	4	1	−1	−2	−1	1	4	7	10	13	16	19	20	22	22	23	11	0
11	30	23	23	22	21	19	16	13	10	6	3	0	−1	−2	0	1	5	8	11	14	17	19	21	22	23	23	11	30
12	0	24	23	22	20	19	16	13	9	6	3	0	−1	−1	0	2	5	9	12	15	18	20	22	23	23	24	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h		3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	15./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12h	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12h																										

Bemerkung wie auf p. 261.

Tabelle V.

Höhe des Hochwassers für Ragusa.

(Die Zeit der Mondeskulmination ist wahre Ortszeit.)

Mondeskulmination		Datumrubrik für Kulminationszeiten unter 12^h																									Mondeskulmination	
		1./I.	15./I.	1./II.	15./II.	1./III.	15./III.	1./IV.	15./IV.	1./V.	15./V.	1./VI.	15./VI.	1./VII.	15./VII.	1./VIII.	15./VIII.	1./IX.	15./IX.	1./X.	15./X.	1./XI.	15./XI.	1./XII.	15./XII.	1./I.		
h	m	*cm*																									h	m
0	0	5	6	8	10	13	15	17	19	21	21	22	22	22	22	22	21	20	18	16	13	10	8	6	6	5	0	0
0	30	5	7	8	11	13	15	18	19	21	21	22	22	22	22	21	20	19	17	15	12	9	7	6	5	5	0	30
1	0	5	7	9	11	13	16	18	19	21	21	22	22	22	21	21	20	19	16	14	11	8	7	5	5	5	1	0
1	30	5	7	9	11	13	16	17	19	20	20	21	21	21	21	20	19	18	15	12	10	7	6	4	4	5	1	30
2	0	5	7	9	11	13	16	17	18	19	20	20	20	20	20	19	18	16	14	11	8	6	5	3	4	5	2	0
2	30	5	7	9	11	13	15	16	17	18	18	19	19	19	18	18	16	15	12	19	7	4	3	2	4	5	2	30
3	0	4	7	9	11	12	14	15	16	17	17	17	18	18	17	16	15	13	10	8	5	3	2	2	3	4	3	0
3	30	4	6	8	10	12	13	14	14	15	15	16	16	16	15	15	13	11	8	5	3	1	1	1	3	4	3	30
4	0	4	6	8	9	11	12	12	13	14	14	14	14	14	13	13	11	9	6	3	2	0	0	1	2	4	4	0
4	30	4	6	7	9	10	10	11	11	12	12	12	12	12	11	11	9	6	4	1	0	−1	0	1	3	4	4	30
5	0	4	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	9	9	6	4	1	−2	−2	−2	−1	1	3	4	5	0
5	30	5	6	7	7	8	8	9	9	9	9	9	8	8	7	7	—	—	—	—	—	−1	1	2	4	5	5	30
6	0	6	6	7	7	7	7	7	7	8	8	7	7	6	5	5	—	—	—	—	—	1	2	3	4	6	6	0
6	30	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	6	4	4	3	—	—	—	—	—	3	5	6	6	7	6	30
7	0	9	9	10	10	10	10	10	9	8	7	6	5	3	2	1	0	−2	0	2	4	6	7	8	9	9	7	0
7	30	11	11	12	12	12	11	11	10	9	8	7	5	3	2	1	1	0	2	4	6	8	9	10	11	11	7	30
8	0	13	13	14	13	13	13	12	12	10	8	7	5	3	2	1	2	2	4	7	8	10	11	12	13	13	8	0
8	30	15	15	15	15	15	15	14	12	11	9	7	5	3	2	2	3	4	6	9	10	12	13	14	15	15	8	30
9	0	17	17	17	17	17	17	15	13	12	9	7	5	3	3	2	4	6	8	11	12	14	15	16	17	17	9	0
9	30	18	18	18	18	18	17	16	14	12	9	7	5	3	3	3	5	7	10	12	14	16	17	18	18	18	9	30
10	0	20	20	20	20	19	18	16	14	12	9	7	6	4	4	4	6	9	11	14	16	17	18	19	19	20	10	0
10	30	21	21	21	20	20	18	16	14	12	9	7	6	4	4	4	7	10	12	15	17	18	19	20	20	21	10	30
11	0	22	22	22	21	20	18	17	14	12	9	7	6	4	5	5	8	11	14	16	18	20	20	21	21	22	11	0
11	30	22	22	22	21	20	18	16	14	11	9	6	5	5	5	6	9	12	14	17	19	20	21	21	22	22	11	30
12	0	22	22	22	21	20	18	16	13	10	8	6	6	5	6	8	10	13	15	17	19	21	21	22	22	22	12	0
Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h		3./VII.	17./VII.	3./VIII.	17./VIII.	31./VIII.	14./IX.	1./X.	15./X.	31./X.	14./XI.	1./XII.	15./XII.	31./XII.	14./I.	31./I.	14./II.	3./III.	17./III.	2./IV.	16./IV.	3./V.	17./V.	2./VI.	16./VI.	3./VII.	Mehrbetrag der Kulminationszeit über 12^h	
		Datumrubrik für Kulminationszeiten über 12^h																										

Bemerkung wie auf p. 261.

Tabelle VIa[1].

Werte von s (mittlere Länge des Mondes) um 0^h, Jänner 1. mittlere Greenwicher Zeit.

Jahr	s	Tage seit Jänner 1.	Datum		Zunahme von s	Tage seit Jänner 1.	Datum		Zunahme von s	Tage	Zunahme von s
1907	122°49	10	Jänner	11	131°76	190	Juli	10	343°52	1	13°18
8	251·88	20		21	263·53	200		20	115·28	2	26·35
9	34·44	30		31	35·29	210		30	247·04	3	39·53
1910	163·82	40	Febr.	10	167·06	220	Aug.	9	18·81	4	52·71
11	293·21	50		20	298·82	230		19	150·57	5	65·88
12	62·60	60	März	2	70·58	240		29	282·34	6	79·06
13	205·15	70		12	202·35	250	Sept.	8	54·10	7	92·23
14	334·54	80		22	334·11	260		18	185·86	8	105·41
15	103·92	90	April	1	105·88	270		28	317·63	9	118·59
16	233·31	100		11	237·64	280	Okt.	8	89·39		
17	15·87	110		21	9·40	290		18	221·16		
18	145·26	120	Mai	1	141·17	300		28	352·92		
19	274·64	130		11	272·93	310	Nov.	7	124·68		
20	44·03	140		21	44·70	320		17	256·45		
21	186·59	150		31	176·46	330		27	28·21		
22	315·97	160	Juni	10	308·22	340	Dez.	7	159·98		
23	85·36	170		20	79·99	350		17	291·74		
24	214·74	180		30	211·75	360		27	63·50		

Tabelle VIb[1].

Werte von h (mittlere Länge der Sonne) um 0^h, Jänner 1. mittlere Greenwicher Zeit.

Jahr	h	Tage seit Jänner 1.	Datum		Zunahme von h	Tage seit Jänner 1.	Datum		Zunahme von h	Tage	Zunahme von h
1907	280°00	10	Jänner	11	9°86	190	Juli	10	187°27	1	0°99
8	279·76	20		21	19·71	200		20	197·13	2	1·97
9	280·51	30		31	29·57	210		30	206·99	3	2·96
1910	280·27	40	Febr.	10	39·43	220	Aug.	9	216·84	4	3·94
11	280·03	50		20	49·28	230		19	226·70	5	4·93
12	279·79	60	März	2	59·14	240		29	236·56	6	5·91
13	280·54	70		12	69·00	250	Sept.	8	246·41	7	6·90
14	280·30	80		22	78·85	260		18	256·27	8	7·89
15	280·06	90	April	1	88·71	270		28	266·12	9	8·87
16	279·82	100		11	98·56	280	Okt.	8	275·98		
17	280·57	110		21	108·42	290		18	285·84		
18	280·33	120	Mai	1	118·28	300		28	295·69		
19	280·09	130		11	128·13	310	Nov.	7	305·55		
20	279·85	140		21	137·99	320		17	315·41		
21	280·60	150		31	147·85	330		27	325·26		
22	280·36	160	Juni	10	157·70	340	Dez.	7	335·12		
23	280·12	170		20	167·56	350		17	344·98		
24	279·88	180		30	177·42	360		27	354·83		

In Schaltjahren ist nach dem 28. Februar das Datum um einen Tag zu vermehren.

[1] Die Tabellen VI*a* und VI*b* wurden Börgens harmonischer Analyse der Gezeitenbeobachtungen (»Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie«, 1884) auszugsweise entnommen.

Tabelle VI c[1].

Werte von N (Länge des aufsteigenden Knotens der Mondbahn) um 0^h, Jänner 1. mittlere Greenwicher Zeit.

Jahr	N	Tage seit Jänner 1.	Datum		Abnahme von N	Tage seit Jänner 1.	Datum		Abnahme von N	Tage	Abnahme von N
1907	123°77	10	Jänner	11	0°53	190	Juli	10	10°06	1	0°05
8	104·45	20		21	1·06	200		20	10·59	2	0·11
9	85·07	30		31	1·59	210		30	11·12	3	0·16
1910	65·74	40	Februar	10	2·12	220	August	9	11·65	4	0·21
11	46·41	50		20	2·65	230		19	12·18	5	0·26
12	27·08	60	März	2	3·18	240		29	12·71	6	0·32
13	7·70	70		12	3·71	250	Sept.	8	13·24	7	0·37
14	348·37	80		22	4·24	260		18	13·77	8	0·42
15	329·05	90	April	1	4·77	270		28	14·30	9	0·48
16	309·71	100		11	5·30	280	Okt.	8	14·83		
17	290·34	110		21	5·82	290		18	15·36		
18	271·01	120	Mai	1	6·35	300		28	15·89		
19	251·68	130		11	6·88	310	Nov.	7	16·42		
1920	232·35	140		21	7·41	320		17	16·95		
21	212·97	150		31	7·94	330		27	17·47		
22	193·64	160	Juni	10	8·47	340	Dez.	7	18·00		
23	174·31	170		20	9·00	350		17	18·53		
24	154·99	180		30	9·53	360		27	19·06		

Tabelle VI d[1].

Werte von p (Perigäum der Mondbahn) um 0^h, Jänner 1. mittlere Greenwicher Zeit.

Jahr	p	Tage seit Jänner 1.	Datum		Zunahme von p	Tage seit Jänner 1.	Datum		Zunahme von p	Tage	Zunahme von p
1907	259°19	10	Jänner	11	1°11	190	Juli	10	21°17	1	0°11
8	299·85	20		21	2.23	200		20	22·28	2	0·22
9	340·62	30		31	3·34	210		30	23·39	3	0·33
1910	21·29	40	Febr.	10	4·46	220	August	9	24·51	4	0·45
11	61·95	50		20	5·57	230		19	25·62	5	0·56
12	102·61	60	März	2	6·68	240		29	26·74	6	0·67
13	143·39	70		12	7·80	250	Sept.	8	27·85	7	0·78
14	184·05	80		22	8·91	260		18	28·97	8	0·89
15	224·71	90	April	1	10·03	270		28	30·08	9	1·00
16	265·37	100		11	11·14	280	Okt.	8	31·19		
17	306·15	110		21	12·25	290		18	32·31		
18	346·81	120	Mai	1	13·37	300		28	33·42		
19	27·47	130		11	14·48	310	Nov.	7	34·54		
1920	68·13	140		21	15·60	320		17	35·65		
21	108·91	150		31	16·71	330		27	36·76		
22	149·57	160	Juni	10	17·82	340	Dez.	10	37·87		
23	190·23	170		20	18·94	350		17	38·96		
24	230·90	180		30	20·05	360		27	40·11		

[1] Die Tabellen VI c und VI d wurden Börgens harmonischer Analyse der Gezeitenbeobachtungen (»Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie«, 1884) auszugsweise entnommen.

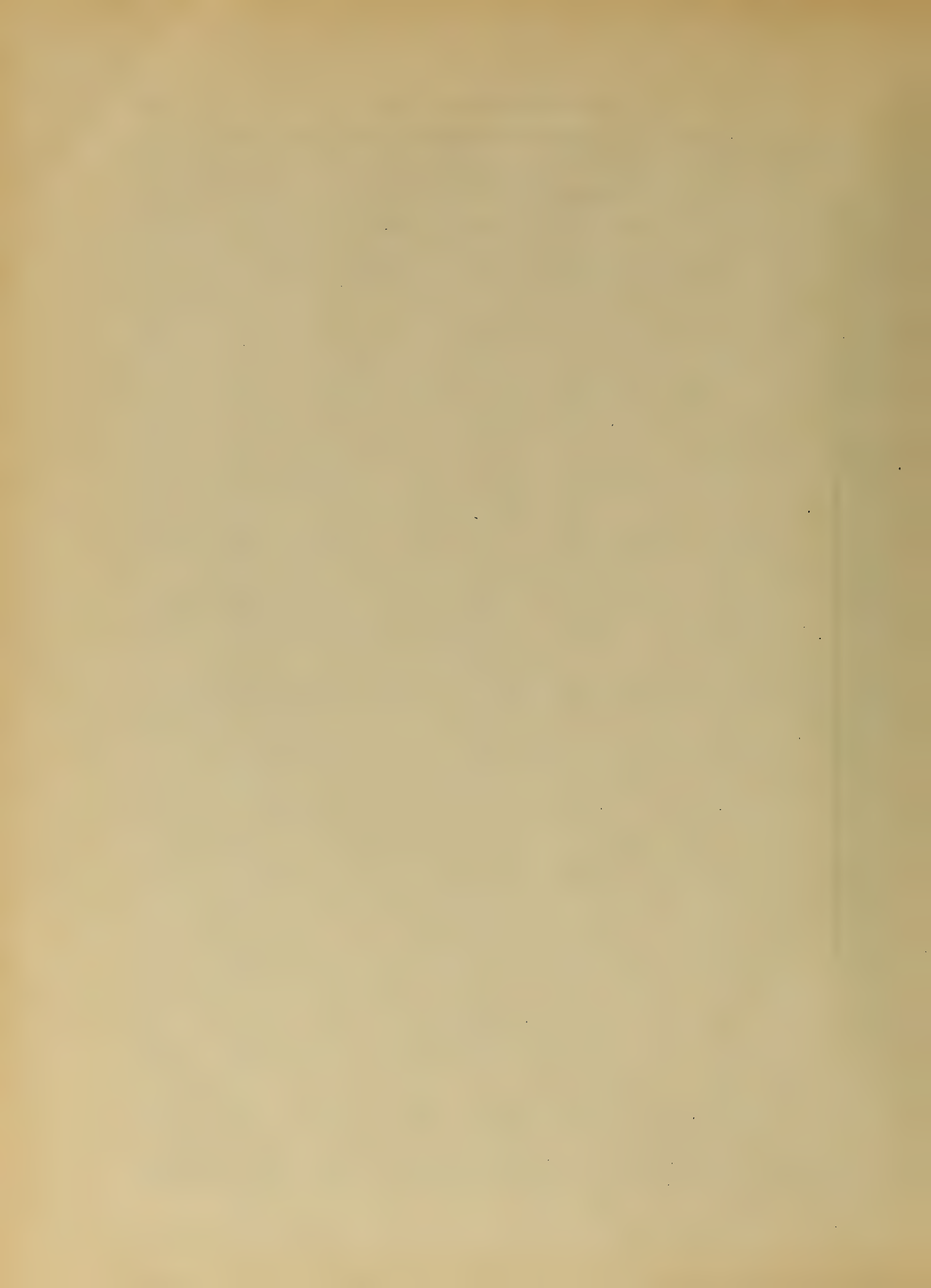
Tabelle VI e[1].

Werte von J, ν, ξ, ν' und $2\nu''$ für verschiedene Werte von N[2].

N	J	ν	ξ	ν'	$2\nu''$	N	J	ν	ξ	ν'	$2\nu''$	N	J	ν	ξ	ν'	$2\nu''$	N	J	ν	ξ	ν'	$2\nu''$
0°	28°60	0°00	0°00	0°0	0°0	50°	27°04	8°70	7°87	6°1	12°9	100°	23°09	13°02	11°97	8·9	17°8	150°	19·16	7°85	7°32	5°1	9°4
2	28·60	0·37	0·34	0·2	0·4	52	26·91	8·98	8·14	6·3	13·3	102	22·91	13·03	11·98	8·9	17·7	152	19·06	7·41	6·91	4·8	8·8
4	28·59	0·75	0·67	0·4	0·8	54	26·79	9·27	8·40	6·5	13·7	104	22·73	13·02	11·98	8·9	17·6	154	18·96	6·95	6·49	4·5	8·2
6	28·58	1·12	1·01	0·6	1·2	56	26·66	9·54	8·65	6·7	14·0	106	22·55	12·99	11·97	8·8	17·5	156	18·86	6·48	6·05	4·2	7·6
8	28·56	1·50	1·35	0·8	1·6	58	26·52	9·81	8·90	6·9	14·4	108	22·38	12·95	11·94	8·8	17·3	158	18·78	5·99	5·60	3·9	7·0
10	28·54	1·87	1·68	1·1	2·4	60	26·39	10·07	9·14	7·0	14·8	110	22·20	12·89	11·89	8·7	17·1	160	18·70	5·49	5·13	3·6	6·4
12	28·51	2·24	2·02	1·6	3·3	62	26·25	10·32	9·37	7·2	15·1	112	22·02	12·82	11·83	8·7	16·9	162	18·62	4·98	4·65	3·2	5·8
14	28·47	2·61	2·35	1·8	3·9	64	26·10	10·56	9·60	7·4	15·4	114	21·84	12·72	11·75	8·6	16·7	164	18·56	4·46	4·16	2·8	5·2
16	28·44	2·97	2·68	2·1	4·5	66	25·95	10·79	9·81	7·6	15·7	116	21·67	12·61	11·66	8·5	16·5	166	18·50	3·92	3·66	2·5	4·6
18	28·39	3·34	3·01	2·4	5·1	68	25·80	11·02	10·02	7·7	16·0	118	21·50	12·48	11·54	8·4	16·2	168	18·45	3·38	3·16	2·1	3·9
20	28·34	3·71	3·34	2·6	5·6	70	25·65	11·23	10·22	7·8	16·2	120	21·33	12·33	11·41	8·3	16·0	170	18·41	2·83	2·64	1·8	3·2
22	28·29	4·07	3·66	2·9	6·1	72	25·49	11·43	10·41	8·0	16·4	122	21·16	12·17	11·27	8·1	15·8	172	18·37	2·27	2·12	1·5	2·5
24	28·23	4·42	3·99	3·1	6·7	74	25·33	11·63	10·60	8·1	16·7	124	20·99	11·98	11·10	8·0	15·4	174	18·34	1·71	1·60	1·2	2·0
26	28·17	4·78	4·31	3·4	7·2	76	25·17	11·81	10·77	8·2	16·9	126	20·83	11·78	10·92	7·8	15·0	176	18·32	1·14	1·07	0·8	1·5
28	28·10	5·13	4·62	3·7	7·7	78	25·01	11·98	10·93	8·3	17·0	128	20·67	11·55	10·72	7·7	14·6	178	18·31	0·57	0·53	0·5	1·0
30	28·02	5·48	4·94	3·9	8·2	80	24·84	12·14	11·08	8·4	17·2	130	20·51	11·31	10·50	7·5	14·2	180	18·31	0·00	0·00	0·0	0·0
32	27·95	5·82	5·25	4·1	8·6	82	24·67	12·29	11·23	8·5	17·4	132	20·35	11·05	10·26	7·3	13·7						
34	27·86	6·16	5·56	4·4	9·1	84	24·50	12·42	11·36	8·6	17·5	134	20·20	10·77	10·01	7·1	13·4						
36	27·77	6·50	5·86	4·6	9·7	86	24·33	12·54	11·48	8·7	17·6	136	20·06	10·47	9·73	6·9	13·0						
38	27·68	6·83	6·16	4·9	10·2	88	24·16	12·65	11·59	8·7	17·7	138	19·91	10·15	9·44	6·7	12·5						
40	27·59	7·15	6·46	5·1	10·7	90	23·98	12·75	11·68	8·8	17·8	140	19·78	9·81	9·13	7·4	12·0						
42	27·48	7·47	6·75	5·3	11·2	92	23·81	12·83	11·77	8·8	17·8	142	19·64	9·46	8·80	6·2	11·5						
44	27·38	7·79	7·04	5·5	11·6	94	23·63	12·90	11·84	8·9	17·8	144	19·51	9·08	8·46	5·9	11·0						
46	27·27	8·10	7·32	5·7	12·1	96	25·45	12·95	11·89	8·9	17·8	146	19·39	8·69	8·10	5·7	10·5						
48	27·15	8·40	7·59	5·9	12·5	98	23·27	12·99	11·94	8·9	17·8	148	19·27	8·28	7·72	5·4	9·9						
50	27·04	8·70	7·87	6·1	12·9	100	23·09	13·02	11·97	8·9	17·8	150	19·16	7·85	7·32	5·1	9·4						

[1] Die Werte von J, ν und ξ wurden Börgens harmonischer Analyse der Gezeitenbeobachtungen, ν' und ν'' dem Werke H. Frochot »Le calcul des marées« auszugsweise entnommen.

[2] N wird vom Frühlingspunkte aus positiv und negativ von 0° bis 180° gezählt. J hat für positive und negative N denselben Wert. ν, ξ, $2\nu'$ und ν'' haben das Vorzeichen von N.



DIE GEZEITENERSCHEINUNGEN IN DER ADRIA

II. TEIL

DIE THEORETISCHE ERKLÄRUNG DER BEOBACHTUNGSTATSACHEN

BEARBEITET VON

DR. ROBERT DAUBLEBSKY v. STERNECK
PROFESSOR DER MATHEMATIK AN DER UNIVERSITÄT GRAZ

MIT 5 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 9. JÄNNER 1919

Die Theorie der Adriagezeiten habe ich in ihren Grundzügen bereits in zwei in den Jahren 1914 und 1915 veröffentlichten Arbeiten [1] entwickelt, indem ich einerseits die vereinigte Sonnen- und Mondflut zur Zeit der Syzygien, andrerseits die Eintagskomponente K_1 der Untersuchung zugrunde legte und den Nachweis erbrachte, daß es sich in beiden Fällen um ganz bestimmte Längs- und Querschwingungen der im Adriabecken eingeschlossenen Wassermenge handelt. Von den Längsschwingungen konnte ich zeigen, daß sie sich fast genau so abspielen, wie es bei bloßem Mitschwingen mit der Gezeitenbewegung des Jonischen Meeres vom hydrodynamischen Standpunkte zu erwarten ist, während die Querschwingungen, wie die exakte Rechnung bewies, ausschließlich in dem Einfluß der Erdrotation ihre physikalische Ursache haben.

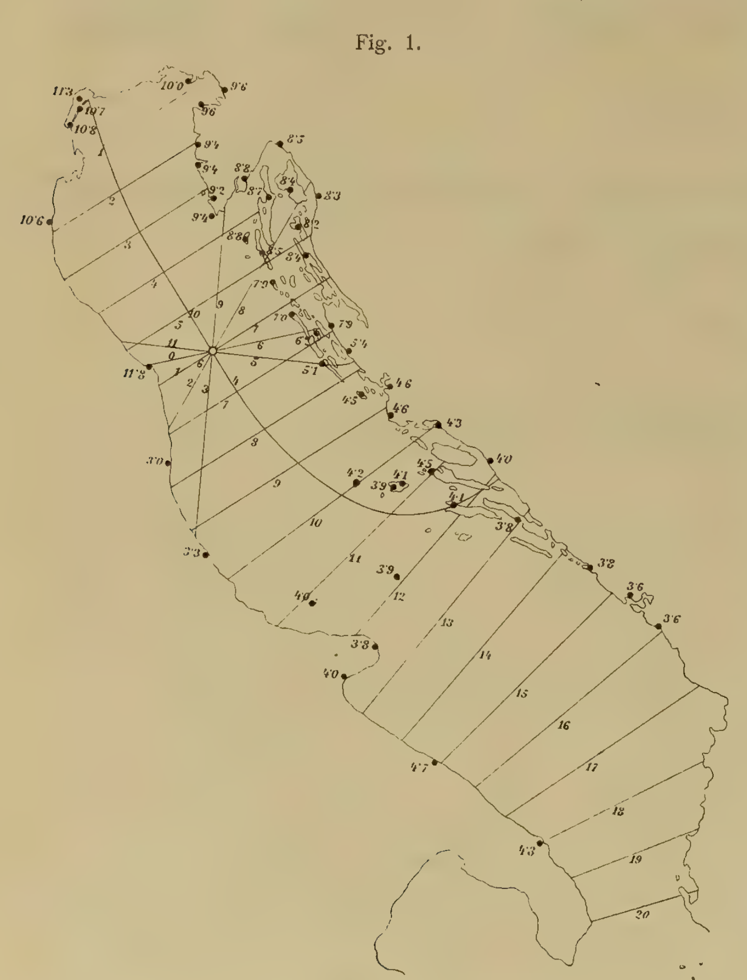
Nun sind wir heute im Besitze des umfangreichen Zahlenmaterials, das Herr Konteradmiral W. v. Kesslitz im ersten Teil dieser Publikation veröffentlicht hat und das die Ergebnisse der harmonischen Analyse der Gezeitenkurven von 16 Beobachtungsstationen enthält. Mit Freude folge ich der mich sehr ehrenden Aufforderung des Präsidiums der Adriakommission, auch dieses reichhaltige Material der theoretischen Bearbeitung zu unterwerfen. Einer solchen wird die Aufgabe zufallen, die

[1] »Über den Einfluß der Erdrotation auf die halbtägigen Gezeiten der Adria«. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, math.-nat. Kl., Bd. 123, 1914, Abt. II a, p. 3 bis 32. — »Zur hydrodynamischen Theorie der Adriagezeiten«. Ebenda, Bd. 124, 1915, Abt. II a, p. 147 bis 180. Vgl. auch A. Defant, »Zur Theorie der Gezeiten im Adriatischen Meere« Annalen der Hydrographie, 1914, p. 270 bis 281.

beobachteten Amplituden und Kappazahlen, die zu jeder einzelnen Partialtide gehören, theoretisch zu erklären, natürlich nur insoweit, als es sich um ihren Verlauf innerhalb der Adria selbst handelt. Wir werden in der Lage sein, auf Grund der Beobachtungsdaten auch bei jeder einzelnen Partialtide eine Längs- und eine Querschwingung festzustellen und sie mit jenen zu vergleichen, die sich aus den hydrodynamischen Differentialgleichungen rein rechnerisch ergeben.

Allerdings bildet es hierbei einen etwas störenden Umstand, daß sich die Ergebnisse der harmonischen Analyse, von den provisorischen Werten für Venedig und Brindisi abgesehen, ausschließlich auf die Ostküste der Adria beziehen, so daß sich aus ihnen allein nicht einmal die auffallendste der Beobachtungstatsachen, nämlich das Vorhandensein einer sogenannten Amphidromie bei den einzelnen Halbtagskomponenten, mit Sicherheit feststellen ließe. Wir sind also in dieser Hinsicht auch heute noch auf die Resultate jener Untersuchung angewiesen, die mein Vater und ich in den Jahren 1904 bis 1907 über die Hafenzeiten und Hubhöhen zahlreicher Stationen der Adriaküste durchgeführt haben.[1] Ich will auf dieses Beobachtungsmaterial hier nicht mehr ausführlicher zurückkommen, sondern bloß die Figur aus der ersten meiner vorhin zitierten Arbeiten wiederholen, die neben den zur Rechnung benützten Querschnitten auch die Amphidromie im nördlichen Teil der Adria zur Anschauung bringt (Fig. 1). Die Zeichnung ist auf Grund der Hafenzeiten von 49 Orten (deren einige allerdings heute eine ganz kleine Korrektur erfahren haben, vgl. den 1. Teil) unter der Voraussetzung ausgeführt, daß die Isorhachien von geraden Linien nicht nennenswert abweichen. Deuteten, wie die Figur zeigt, bereits die zahlreichen Stationen der Ostküste und der Inseln durch die radiale Anordnung der Orte gleicher Hafenzeiten auf eine sternförmige Anordnung der Isorhachien hin, so schloß sich der experimentelle Nachweis dieser wichtigen Tatsache durch jene Beobachtungsdaten, die ich im Jahre 1907 an der italienischen Küste gewann, da sie zeigten, daß die Hafenzeiten an der Westküste der Adria tatsächlich von Norden gegen Süden in Zunahme begriffen sind, das Hochwasser zur Zeit der Syzygien also wirklich den nördlichen Teil der Adria im Laufe von 12 Stunden entgegen dem Sinne des Uhrzeigers je einmal umkreist. Damit ist das gleiche Verhalten unzweifelhaft auch für jede einzelne halbtägige Partialtide als erwiesen anzusehen und so die Grundlage für die Aufstellung einer entsprechenden Theorie gegeben, obwohl heute bloß von zwei Stationen der Westküste der Adria die Resultate der harmonischen Analyse vorliegen.

Fig. 1.



[1] Generalmajor R. v. Sterneck: »Das Fortschreiten der Flutwelle im Adriatischen Meere«. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, math.-nat. Kl., Bd. 117, Abt. IIa, 1908, p. 151 bis 203.

I. Die empirischen Grundlagen der Theorie.

1. Die Beobachtungsdaten.

Um mich im folgenden nicht immer auf den ersten Teil dieser Publikation berufen zu müssen, stelle ich hier zunächst die beobachteten Amplituden und Kappazahlen der einzelnen Partialtiden übersichtlich zusammen. H bedeutet die Amplitude in Zentimetern, $\varkappa$ die Epoche in Graden, und zwar auf mitteleuropäische Zeit, das heißt den Meridian 15° östl. v. Gr. reduziert, derart, daß gleichen reduzierten Kappazahlen wirklich auch ein gleichzeitiger Eintritt des der betreffenden Partialtide zugehörigen Hochwassers entspricht.

Tabelle 1.

Ort	Geographische Position		M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O
Triest	φ = 45° 38·9'	H	26·30	15·83	4·30	5·22	17·33	4·75	5·02
	λ = 13° 45·5'	$\varkappa$	276·2	283·4	285·2	278·5	69·0	73·2	56·8
Venedig	φ = 45° 20·0'	H	22·26	12·54	—	3·98	17·14	—	—
	λ = 12° 20·7'	$\varkappa$	289·3	300·6	—	274·7	78·2	—	—
Fiume	φ = 45° 19·8'	H	10·38	5·67	1·92	1·73	13·99	4·29	3·96
	λ = 14° 25·7'	$\varkappa$	250·1	250·0	242·0	243·6	65·7	64·4	56·0
Pola	φ = 44° 51·8'	H	15·07	8·68	2·34	2·45	15·63	4·94	4·96
	λ = 13° 50·8'	$\varkappa$	266·7	273·1	274·0	271·3	69·1	70·1	63·3
Zengg	φ = 44° 59·6'	H	9·93	5·15	—	1·99	13·60	—	—
	λ = 14° 54·0'	$\varkappa$	242·8	238·5	—	229·3	65·5	—	—
Hafen Cigale	φ = 44° 31·8'	H	8·50	4·36	—	2·43	15·52	—	—
	λ = 14° 27·0'	$\varkappa$	246·9	248·4	—	244·8	66·7	—	—
Hafen Pantera	φ = 44° 9·3'	H	4·56	3·43	—	1·06	12·12	3·37	3·76
	λ = 14° 49·9'	$\varkappa$	195·6	204·4	—	197·3	60·0	51·0	67·9
Zara	φ = 44° 7·1'	H	6·47	3·25	—	0·95	13·19	—	—
	λ = 15° 13·6'	$\varkappa$	232·2	235·0	—	228·2	68·0	—	—
Sestrice	φ = 43° 51·3'	H	4·88	3·74	—	—	—	—	—
	λ = 15° 12·4'	$\varkappa$	153·9	143·1	—	—	—	—	—
Sebenico	φ = 43° 43·3'	H	6·29	4·43	—	1·39	9·25	—	—
	λ = 15° 51·4'	$\varkappa$	136·6	132·0	—	127·4	57·2	—	—
Rogoznica	φ = 43° 31·6'	H	6·59	4·65	—	—	8·98	—	—
	λ = 15° 58·1'	$\varkappa$	140·9	136·6	—	124·8	66·9	—	—
Comisa	φ = 43° 2·7'	H	7·40	5·16	1·30	1·44	7·83	2·40	2·51
	λ = 16° 5·3'	$\varkappa$	108·4	119·3	110·9	115·6	57·2	51·4	41·0
Pelagosa	φ = 42° 23·6'	H	8·58	5·60	1·61	1·69	6·14	2·33	2·16
	λ = 16° 15·1'	$\varkappa$	104·5	115·7	105·7	102·3	70·7	47·7	58·8
Ragusa	φ = 42° 38·4'	H	9·29	5·80	1·48	1·65	5·08	1·74	2·14
	λ = 18° 6·8'	$\varkappa$	103·9	107·4	91·9	104·1	58·5	54·5	44·7
Meljine	φ = 42° 27·2'	H	9·12	5·90	—	2·14	4·97	—	—
	λ = 18° 33·7'	$\varkappa$	106·9	109·7	—	114·0	55·9	—	—
Brindisi	φ = 40° 39·4'	H	8·21	5·24	—	1·82	4·43	—	—
	λ = 17° 59·6'	$\varkappa$	110·7	121·8	—	119·8	74·5	—	—

2. Die Ausmessung des Adriabeckens.

Zur theoretischen Untersuchung der Schwingungsvorgänge benötigen wir eine möglichst genaue Ausmessung des Adriabeckens durch Bestimmung der Breiten und Flächeninhalte einer größeren Zahl von Querprofilen. Ich habe zu diesem Zwecke die Seekarte im Maßstabe 1 : 1,000.000 (Ausgabe 1903, Ergänzungen bis 1908) verwendet, die allerdings noch die ganz unrichtigen, bis 1645 *m* reichenden Tiefenkoten im südöstlichen Teil des Meeres enthält. Durch die Terminfahrten der »Najade«[1] ist festgestellt worden, daß diese von F. Hopfgartner stammenden Angaben der Wahrheit nicht entsprechen, sich vielmehr in dieser Gegend bloß Tiefen zwischen 1000 und 1100 *m* vorfinden. Da ich mich aber andrerseits für die Zwecke der folgenden Untersuchung mit den heute bereits neu ausgeloteten Profilen allein nicht begnügen konnte, legte ich meinen Ausmessungen dennoch die genannte Seekarte zugrunde, verbesserte jedoch vor ihrer Benützung die Tiefenkoten in der Gegend jener unrichtigen Hopfgartner'schen Angaben auf Grund der Lotungen der »Najade«. Ferner ermittelte ich zur Kontrolle die genauen Flächeninhalte dreier von der »Najade« ausgemessenen Profile und verglich sie mit den sich aus der Seekarte ergebenden, wobei ich eine Übereinstimmung bis auf 3%, beziehungsweise 5% fand, um die die neuen Profile kleinere Werte ergeben. Das sind für die folgende Untersuchung noch kaum in Betracht kommende Beträge, so daß ich ohne Bedenken die aus der Seekarte gewonnenen Flächeninhalte den theoretischen Rechnungen zugrunde legen konnte. Es ist selbstverständlich, daß an den einzelnen Stellen Korrektionen wegen des verschiedenen Maßstabes der Mercatorprojektion und auch eine kleine Verbesserung wegen des Umstandes angebracht wurde, daß sich die Tiefenangaben auf das Niedrigwasser, nicht auf den mittleren Wasserstand beziehen.

Die Querschnitte wurden so gelegt, wie sie durch die dünnen Linien in der nachfolgenden Kartenskizze eingezeichnet sind, die außerdem auch noch die Lage der Beobachtungsstationen und die weiter unten zu besprechende theoretische Amphidromie, die zur Partialtide M_2 gehört, zur Darstellung bringt. Die Mittellinie der Adria wurde so gezogen, daß sie einerseits der Tallinie möglichst angepaßt wurde, andrerseits aber wegen der zu ziehenden Querschnitte allzu viele schärfere Krümmungen vermieden wurden. Sie wurde in 39 gleiche Teile geteilt und in den Teilpunkten senkrecht zu ihr die mit 1 bis 40 numerierten Querschnitte gezogen. Die Entfernung zweier Querschnitte beträgt 20·5 *km*. Der Quarnero wurde besonders berücksichtigt, indem die Querschnitte 7* und 8* senkrecht zu seiner Mittellinie gezogen wurden (in der Figur nicht numeriert) und auch die Querschnitte 9 bis 12 mit Rücksicht auf die Mittellinie des Quarnero in ihrem östlichen Teil ein wenig abgebogen wurden. Die Breite der Querschnitte wurde so gemessen, daß sie sich, wenn Inseln zu überschreiten waren, bloß aus den innerhalb des Meeres verlaufenden Teilen additiv zusammensetzt.

Die Ausmessungsresultate der Breiten b und der Querschnittflächen S sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, die aber zugleich verwendet wurde, um auch einige andere für die folgenden Rechnungen benötigten Größen mit aufzunehmen. So ist unmittelbar nach S die Oberfläche ΔO zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Querschnitten angegeben; sie wurde einfach nach der Trapezformel berechnet und nur das erste, bis zum Querschnitt 2 reichende Oberflächenelement genau ausgemessen und mit dem noch vor dem ersten Querschnitt liegenden Teil der Oberfläche vereinigt. Bei den Querschnitten 7 und 8 sind die auf den Hauptteil der Adria und auf den Quarnero bezüglichen Teilbeträge der Größen b, S und ΔO gesondert angegeben.

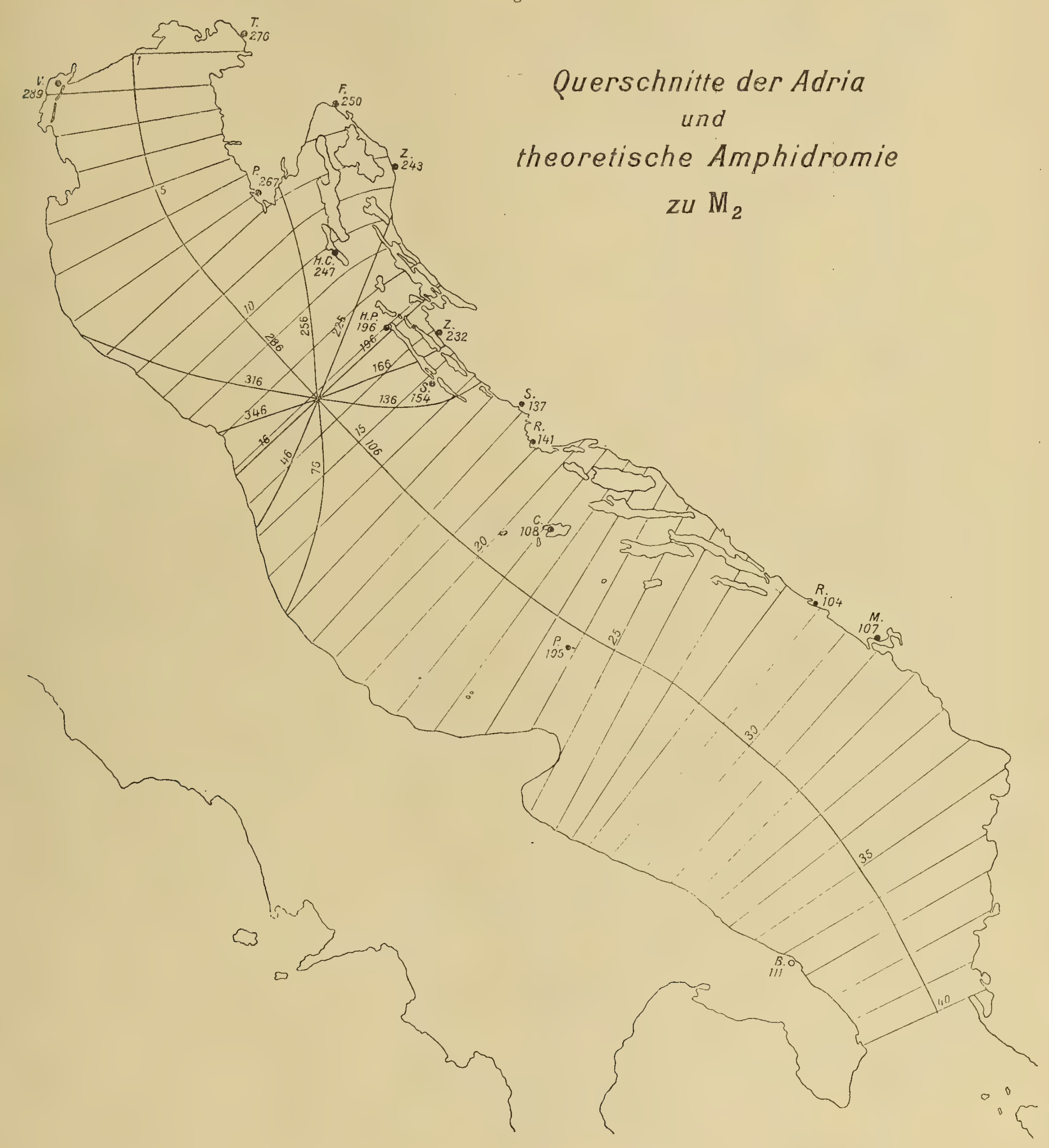
Die Tabelle enthält ferner die mittlere Tiefe $h = \frac{S}{b}$ längs der einzelnen Querschnitte und die daraus nach der Merian'schen Formel berechnete Eigenperiode $\frac{2b}{\sqrt{gh}}$, die einer Querschwingung des Meeres an der betreffenden Stelle zugehören würde. Der Quarnero blieb bei dieser Berechnung unberücksichtigt. Da aber bei einer solchen Querschwingung benachbarte Querschnitte offenbar von-

---

[1] Kommission für die Erforschung der Adria. Berichte über die Terminfahrten. 3 Hefte. Wien 1912 bis 1915.

einander nicht ganz unabhängig sind, so wurden die erhaltenen Resultate zu Triadenmitteln vereinigt und, auf Zehntelstunden abgerundet, als Werte τ_q (Eigenperiode der Querschwingung) in die Tabelle eingetragen.

Fig. 2.



In den beiden letzten Kolumnen findet man schließlich die Werte $\frac{\tan}{\operatorname{arc}} \frac{\pi}{2} \frac{\tau_q}{12}$ und $\frac{\tan}{\operatorname{arc}} \frac{\pi}{2} \frac{\tau_q}{24}$, das sind jene Multiplikatoren, die wegen der Trägheit des Wassers an die Neigungen der Niveauflächen anzubringen sind, wenn die Amplituden der infolge dieser Neigungen entstehenden Querschwingungen bei den halb-, beziehungsweise ganztägigen Partialtiden exakt berechnet werden sollen, worüber im Verlaufe dieser Untersuchung noch ausführlicher zu sprechen sein wird.

Tabelle 2.

Querschnitt	b km	S km^2	ΔO km^2	h m	$\frac{2b}{\sqrt{gh}}$	τ_q Stunden	$\frac{\tan}{\text{arc}}\frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{12}$	$\frac{\tan}{\text{arc}}\frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{24}$
1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	98	1·93	2440	19·7	3·92	3·7	1·09	1·02
3	99	2·55	2019	25·8	3·46	3·4	1·07	1·02
4	91	2·85	1948	31·4	2·88	3·4	1·07	1·02
5	120	3·80	2163	31·7	3·78	3·6	1·08	1·02
6	131	4·43	2573	33·8	4·00	3·8	1·09	1·02
7	134 24	5·45 1·10	2716 246	40·7	3·73	3·8	1·09	1·02
8	136 54	5·54 1·85	2768 800	40·7	3·78	4·1	1·11	1·02
9	185	9·08	3844	49·1	4·68	4·2	1·12	1·03
10	163	7·72	3567	47·3	4·20	4·3	1·12	1·03
11	160	8·36	3311	52·3	3·92	3·9	1·10	1·02
12	151	8·22	3188	54·4	3·63	3·8	1·09	1·02
13	153	8·20	3116	53·6	3·71	3·6	1·08	1·02
14	154	9·22	3147	59·8	3·53	3·5	1·08	1·02
15	157	10·9	3188	69·4	3·34	3·4	1·07	1·02
16	177	14·9	3424	84·2	3·42	3·2	1·06	1·02
17	185	22·9	3711	124	2·95	3·0	1·05	1·01
18	190	32·8	3844	173	2·56	2·7	1·04	1·01
19	182	26·1	3813	143	2·70	2·8	1·04	1·01
20	202	24·1	3936	119	3·29	3·2	1·06	1·02
21	208	21·9	4203	105	3·60	3·4	1·07	1·02
22	186	19·6	4039	105	3·22	3·3	1·07	1·02
23	173	18·6	3680	108	2·96	3·0	1·05	1·01
24	162	16·3	3434	101	2·86	3·1	1·06	1·02
25	186	15·6	3567	83·9	3·61	3·3	1·07	1·02
26	207	24·1	4028	116	3·41	3·2	1·06	1·02
27	195	38·0	4121	195	2·48	2·5	1·04	1·01
28	203	89·6	4080	442	1·71	1·9	1·02	1·00
29	205	117·7	4182	574	1·52	1·5	1·01	1·00
30	198	139·7	4131	705	1·32	1·4	1·01	1·00
31	195	149·6	4028	767	1·25	1·3	1·01	1·00
32	200	131·6	4049	658	1·38	1·3	1·01	1·00
33	196	134·3	4059	685	1·33	1·4	1·01	1·00
34	194	104·8	3998	540	1·48	1·6	1·02	1·00
35	193	65·4	3967	339	1·86	1·6	1·02	1·00
36	150	54·0	3516	360	1·40	1·6	1·02	1·00
37	138	39·2	2952	284	1·45	1·4	1·01	1·00
38	116	32·7	2604	282	1·23	1·2	1·01	1·00
39	87	27·1	2081	312	0·87	0·9	1·00	1·00
40	84	37·3	1753	444	0·71	0·8	1·00	1·00

3. Die beobachteten Längs- und Querschwingungen.

Wenn in einer bestimmten Station bei der Partialtide mit der Periode T die Amplitude H und die Kappazahl $\varkappa$ beobachtet sind, so kann man nach vollkommen willkürlicher Wahl einer Konstanten $\varkappa_0$ hierzu immer zwei Größen η und $\bar{\eta}$ als Amplituden zweier Schwingungen mit den Epochen $\varkappa_0$ und $\varkappa_0+\frac{\pi}{2}$ angeben, derart, daß ihre Zusammensetzung die tatsächlich beobachtete Schwingung in der betreffenden Station ergibt. Wir brauchen zu diesem Zwecke bloß die Relation

$$H\cos\left(\frac{2\pi}{T}t-\varkappa\right)=\eta\cos\left(\frac{2\pi}{T}t-\varkappa_0\right)+\bar{\eta}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t-\varkappa_0-\frac{\pi}{2}\right)$$

$$=\eta\cos\left(\frac{2\pi}{T}t-\varkappa_0\right)+\bar{\eta}\sin\left(\frac{2\pi}{T}t-\varkappa_0\right)$$

zu erfüllen, die durch Spezialisierung für jene Werte t, für welche $\frac{2\pi}{T}t=\varkappa_0$, beziehungsweise $=\varkappa_0+\frac{\pi}{2}$ ist, bereits die gesuchten Amplituden

$$\eta=H\cos(\varkappa-\varkappa_0) \qquad \bar{\eta}=H\sin(\varkappa-\varkappa_0)$$

liefert. Es ist leicht zu sehen, daß diese Werte, in die vorstehende Relation eingesetzt, sie auch tatsächlich befriedigen.

Wenn wir die Größe $\varkappa_0$ im besonderen so wählen, daß sie der beobachteten Kappazahl am südlichen Teil der Mittellinie entspricht, so gehen die beiden Schwingungen mit den Epochen $\varkappa_0$ und $\varkappa_0+\frac{\pi}{2}$ in eine Längs- und eine Querschwingung der Adria über. Daß die Längs- und Querschwingung wirklich genau eine Phasendifferenz von einem Viertel der Periode besitzen, habe ich in der ersten der eingangs erwähnten Arbeiten für die Gezeitenbewegung, die der vereinigten Sonnen- und Mondflut in der Umgebung der Syzygien entspricht, auf Grund der Hafenzeiten und Hubhöhen von 49 Stationen mit aller Strenge bewiesen, so daß wir die gleiche Tatsache wohl auch für die jeder einzelnen Partialtide zugeordneten Schwingungen als vollkommen gesichert ansehen können.

Bei der Berechnung der Amplituden η und $\bar{\eta}$ habe ich als Größen $\varkappa_0$ zunächst die in Pelagosa beobachteten Kappazahlen verwendet, das ganz nahe an der Mittellinie des Meeres liegt, längs welcher, da $\bar{\eta}=0$ ist, überall der Wert $\varkappa_0$ oder $\varkappa_0+180°$ als Kappazahl zur Beobachtung gelangen muß. Eine genauere Diskussion der dabei erhaltenen Amplitudenverteilung überzeugte mich jedoch, daß die Genauigkeit der für Pelagosa angegebenen Kappazahlen namentlich bei den Eintagskomponenten kaum eine besonders große sein dürfte, wie es ja bei der Kleinheit der zugehörigen Amplituden auch nicht anders zu erwarten ist. Ich zog es daher vor, zur endgültigen Bestimmung der Größen $\varkappa_0$ die ganz verläßliche Station Pola heranzuziehen, und zwar mit Hilfe einer Methode, die erst am Ende des zweitnächsten Abschnittes wird besprochen werden können, da sie auch die theoretischen Werte von η und $\bar{\eta}$ mitbenützt. Da es sich um eine »Wahl« der Größen $\varkappa_0$ handelt, ist ein solcher Vorgang durchaus einwandfrei. Dabei erhielt ich folgende verbesserte Werte für $\varkappa_0$, nämlich

für	M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O
$\varkappa_0=$	106·0°	113·8°	112·6°	112·2°	76·0°	77·0°	69·7°.

Die Abweichung von den in Pelagosa beobachteten Kappazahlen ist, wie man sieht, nur bei den sehr schwachen Eintagskomponenten P und O etwas wesentlicher (vgl. Tabelle 1).

Die mit Hilfe der beiden vorstehenden Formeln ermittelten Amplituden η und $\bar{\eta}$ sind in der Tabelle 3 zusammengestellt. Zum Zwecke der Vergleichbarkeit mit der Theorie, die die Amplituden der Querschwingung im Winkelmaß liefert, wurden ferner die Größen $\bar{\eta}$ auf eine ideale Entfernung, nämlich

100 *km*, reduziert, also mit dem Werte $\frac{100\,km}{d}$ multipliziert, wo d die Entfernung des Beobachtungsortes von der Mittellinie bedeutet. Die erhaltenen Resultate sind mit $\bar{\eta}_{100}$ bezeichnet. Bei Fiume und Zengg wurde jedoch von einer solchen Reduktion abgesehen. Die Absteckung von 100 *km* von der Mittellinie aus führt nämlich beim Querschnitt 9 (vgl. Fig. 2) fast genau bis in die Mitte des Quarnero, innerhalb dessen wir auf Grund der Theorie (vgl. die beiden folgenden Abschnitte) wegen der Kleinheit der Werte ξ sozusagen vollkommen konstante Werte $\bar{\eta}$ annehmen müssen, so daß wir die in Fiume und Zengg beobachteten Werte auch in der Entfernung von 100 *km* als gültig annehmen können. Bei Pelagosa wurde wegen seiner Nähe an der Mittellinie von einer Bestimmung des Wertes $\bar{\eta}_{100}$ abgesehen.

Tabelle 3.

Querschnitt	Station	$\varkappa - \varkappa_0$	H *cm*	η *cm*	$\bar{\eta}$ *cm*	$\frac{100\,km}{d}$	$\bar{\eta}_{100}$ *cm*
	M_2. $\varkappa_0 = 106 \cdot 0°$.						
1·0	Triest	170·2	26·30	—25·92	4·48	1·429	6·40
1·7	Venedig	183·3	22·26	—22·22	—1·28	—2·222	2·84
6·0*	Fiume	144·1	10·38	— 8·41	6·09	—	6·09
7·0	Pola	160·7	15·07	—14·22	4·98	1·786	8·89
8·6	Zengg	136·8	9·93	— 7·24	6·80	—	6·80
10·4	Hafen Cigale	140·9	8·50	— 6·60	5·36	1·538	8·24
13·0	Hafen Pantera	89·6	4·56	0·03	4·56	1·667	7·60
14·2	Zara	126·2	6·47	— 3·82	5·22	1·250	6·53
15·3	Sestrice	47·9	4·88	3·27	3·62	1·724	6·24
17·8	Sebenico	30·6	6·29	5·41	3·20	1·124	3·60
18·8	Rogoznica	34·9	6·59	5·41	3·77	1·299	4·90
21·2	Comisa	2·4	7·40	7·39	0·31	2·439	0·76
23·8	Pelagosa	—1·5	8·58	8·58	—0·22	—	—
28·8	Ragusa	—2·1	9·29	9·28	—0·34	1·064	—0·36
30·7	Meljine	0·9	9·12	9·12	0·14	0·971	0·14
36·3	Brindisi	4·7	8·21	8·18	0·67	—1·515	—1·02
	S_2. $\varkappa_0 = 113 \cdot 8°$.						
1·0	Triest	169·6	15·83	—15·57	2·86	1·429	4·09
1·7	Venedig	186·8	12·54	—12·45	—1·48	—2·222	3·29
6·0*	Fiume	136·2	5·67	— 4·09	3·92	—	3·92
7·0	Pola	159·3	8·68	— 8·12	3·07	1·786	5·48
8·6	Zengg	124·7	5·15	— 2·93	4·23	—	4·23
10·4	Hafen Cigale	134·6	4·36	— 3·06	3·10	1·538	4·77
13·0	Hafen Pantera	90·6	3·43	— 0·04	3·43	1·667	5·72
14·2	Zara	121·2	3·25	— 1·68	2·78	1·250	3·48
15·3	Sestrice	29·3	3·74	3·26	1·83	1·724	3·15
17·8	Sebenico	18·2	4·43	4·21	1·38	1·124	1·55
18·8	Rogoznica	22·8	4·65	4·29	1·80	1·299	2·34
21·2	Comisa	5·5	5·16	5·14	0·49	2·439	1·20

Quer-sschnitt	Station	$\varkappa - \varkappa_0$	H cm	η cm	$\bar{\eta}$ cm	$\frac{100\ km}{d}$	$\bar{\eta}_{100}$ cm
23·8	Pelagosa	1·9	5·60	5·60	0·19	—	—
28·8	Ragusa	—6·4	5·80	5·76	—0·65	1·064	—0·69
30·7	Meljine	—4·1	5·90	5·88	—0·42	0·971	—0·41
36·3	Brindisi	8·0	5·24	5·19	0·73	—1·515	—1·11
	N. $\varkappa_0 = 112 \cdot 6°$.						
1·0	Triest	172·6	4·30	—4·26	0·55	1·429	0·79
6·0*	Fiume	129·4	1·92	—1·22	1·48	—	1·48
7·0	Pola	161·4	2·34	—2·22	0·75	1·786	1·34
21·2	Comisa	— 1·7	1·30	1·30	—0·04	2·439	—0·10
23·8	Pelagosa	— 6·9	1·61	1·60	—0·19	—	—
28·8	Ragusa	—20·7	1·48	1·38	—0·52	1·064	—0·55
	K_2. $\varkappa_0 = 112 \cdot 2°$.						
1·0	Triest	166·3	5·22	—5·07	1·24	1·429	1·77
1·7	Venedig	162·5	3·98	—3·80	1·20	—2·222	—2·67
6·0*	Fiume	131·4	1·73	—1·14	1·30	—	1·30
7·0	Pola	159·1	2·45	—2·29	0·87	1·786	1·55
8·6	Zengg	117·1	1·99	—0·91	1·77	—	1·77
10·4	Hafen Cigale	132·6	2·43	—1·64	1·79	1·538	2·75
13·0	Hafen Pantera	85·1	1·06	0·09	1·06	1·667	1·77
14·2	Zara	116·0	0·95	—0·42	0·85	1·250	1·06
17·8	Sebenico	15·2	1·39	1·34	0·36	1·124	0·40
21·2	Comisa	3·4	1·44	1·44	0·09	2·439	0·22
23·8	Pelagosa	—9·9	1·69	1·66	—0·29	—	—
28·8	Ragusa	—8·1	1·65	1·63	—0·23	1·064	—0·24
30·7	Meljine	1·8	2·14	2·14	0·07	0·971	0·07
36·3	Brindisi	7·6	1·82	1·80	0·24	—1·515	—0·36
	K_1. $\varkappa_0 = 76 \cdot 0°$.						
1·0	Triest	— 7·0	17·33	17·20	—2·11	1·429	—3·02
1·7	Venedig	2·2	17·14	17·13	0·66	—2·222	—1·47
6·0*	Fiume	—10·3	13·99	13·76	—2·50	—	—2·50
7·0	Pola	— 6·9	15·63	15·52	—1·88	1·786	—3·36
8·6	Zengg	—10·5	13·60	13·37	—2·48	—	—2·48
10·4	Hafen Cigale	— 9·3	15·52	15·32	—2·51	1·538	—3·86
13·0	Hafen Pantera	—16·0	12·12	11·65	—3·34	1·667	—5·57
14·2	Zara	— 8·0	13·19	13·06	—1·84	1·250	—2·30
17·8	Sebenico	—18·8	9·25	8·76	—2·98	1·124	—3·35
18·8	Rogoznica	— 9·1	8·98	8·87	—1·42	1·299	—1·84
21·2	Comisa	—18·8	7·83	7·41	—2·52	2·439	—6·15

Querschnitt	Station	$\varkappa-\varkappa_0$	H *cm*	η *cm*	$\bar{\eta}$ *cm*	$\frac{100\ km}{d}$	$\bar{\eta}_{100}$ *cm*
23·8	Pelagosa	— 5·3	6·14	6·11	—0·57	—	—
28·8	Ragusa	—17·5	5·08	4·84	—1·53	1·064	—1·63
30·7	Meljine	—20·1	4·97	4·67	—1·71	0·971	—1·66
36·3	Brindisi	— 1·5	4·43	4·43	—0·12	—1·515	0·18
			P. $\varkappa_0 = 77·0°$.				
1·0	Triest	— 3·8	4·75	4·74	—0·31	1·429	—0·44
6·0*	Fiume	—12·6	4·29	4·19	—0·94	—	—0·94
7·0	Pola	— 6·9	4·94	4·90	—0·59	1·786	—1·05
13·0	Hafen Pantera	—26·0	3·37	3·03	—1·48	1·667	—2·47
21·2	Comisa	—25·6	2·40	2·16	—1·04	2·439	—2·54
23·8	Pelagosa	—29·3	2·33	2·03	—1·14	—	—
28·8	Ragusa	—22·5	1·74	1·61	—0·67	1·064	—0·71
			O. $\varkappa_0 = 69·7°$.				
1·0	Triest	—12·9	5·02	4·89	—1·12	1·429	—1·60
6·0*	Fiume	—13.7	3·96	3·85	—0·94	—	—0·94
7·0	Pola	— 6·4	4·96	4·93	—0·55	1·786	—0·98
13·0	Hafen Pantera	— 1·8	3·76	3·76	—0·12	1·667	—0·20
21·2	Comisa	—28·7	2·51	2·20	—1·21	2·439	—2·95
23·8	Pelagosa	—10·9	2·16	2·12	—0·41	—	—
28·8	Ragusa	—25·0	2·14	1·94	—0·90	1·064	—0·96

II. Die Adria als mitschwingender Kanal betrachtet.

1. Die theoretischen Längsschwingungen.

Bei der Ermittlung der Amplitudenverteilung der Längsschwingungen der Adria, die vom theoretischen Standpunkte den einzelnen Partialtiden zuzuordnen sind, wollen wir in diesem Hauptabschnitte zunächst so vorgehen, als ob die fluterzeugenden Kräfte auf das Adriabecken selbst ohne Einfluß wären, also bloß ein Mitschwingen der Adria mit den entsprechenden periodischen Oberflächenbewegungen des Jonischen Meeres stattfände. Infolge der geringen Erstreckung der Adria in der Ost-West-Richtung, die bloß sechs Längengrade umfaßt, kommt diese Hypothese der Wahrheit bereits sehr nahe, da die Neigungen der durch die Gestirne gestörten Niveauflächen außerordentlich gering sind. Eine genaue Berechnung dieser Neigungen und des Einflusses, den Sonne und Mond auf die Wassermassen der Adria selbst ausüben, wird dann im nächsten Hauptabschnitte gegeben werden.

Es bedeute x die längs der Mittellinie gemessene Entfernung vom nördlichen Ende der Adria aus, b die Breite und S die Querschnittsfläche der Adria an der Stelle x. Die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen bezeichnen wir mit ξ und nehmen sie in einem und demselben Querschnitte als vollkommen gleichmäßig an, derart, daß ξ nur von x und der Zeit t abhängt. Das gleiche gilt dann offenbar auch von den vertikalen Verschiebungen η der Oberflächenteilchen. Bei einem Mitschwingen

mit einer äußeren periodischen Bewegung der Periode T müssen auch ξ und η periodische Funktionen mit der gleichen Periode sein, also beide den Zeitfaktor $\cos\left(\frac{2\pi}{T}t+\varepsilon\right)$ enthalten; dabei muß auch ε in beiden Fällen dieselbe Konstante sein, weil dem Durchgang durch die Ruhelage im ganzen Kanal die Werte $\xi=0$ und $\eta=0$ entsprechen.

Die Bewegungs- und die Kontinuitätsgleichung der Hydrodynamik, von denen die Längsschwingungen des betrachteten Kanals unter den eben angeführten Voraussetzungen abhängen, lauten dann: [1]

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=-g\frac{\partial\eta}{\partial x} \qquad \eta=-\frac{1}{b}\frac{\partial}{\partial x}(S.\xi)$$

Nach Ausführung der Differentiationen fällt, wie man sieht, der eben erwähnte Zeitfaktor aus beiden Gleichungen heraus. Wenn wir also die Zeichen ξ und η auch für die Maximalelongationen (Amplituden) der horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen verwenden, so erfüllen diese letzteren Größen, die jetzt offenbar nur mehr Funktionen von x sind, die Differentialgleichungen

$$\frac{4\pi^2}{T^2}\xi=g\frac{d\eta}{dx} \qquad \eta=-\frac{1}{b}\frac{d}{dx}(S.\xi)$$

Die beiden Gleichungen sind in den Größen ξ und η homogen, haben somit die Eigenschaft, daß eine ihnen genügende Wertreihe ξ und η sie auch noch nach Multiplikation sämtlicher Werte mit einem ganz beliebigen konstanten Faktor befriedigt. Durch geeignete Wahl dieses Faktors kann also nachträglich eine zu den Differentialgleichungen noch hinzukommende Anfangsbedingung erfüllt werden, also entweder die Koinzidenz der Bewegung an der Mündungsstelle oder, falls uns dort die Amplituden nicht bekannt sind, die Übereinstimmung mit einem Beobachtungsdatum an irgend einer anderen Stelle des Meeres hergestellt werden.

Für die Zwecke der Rechnung schreiben wir die erste Gleichung besser als Differenzengleichung und integrieren die zweite, so daß sie in der Gestalt erscheinen

$$\Delta\eta=\frac{4\pi^2}{gT^2}\Delta x.\xi\ldots(1) \qquad \xi=-\frac{1}{S}\int_0^x\eta.b\,dx\ldots(2)$$

Die Gleichung (1) nimmt nun für die zu den einzelnen Partialtiden gehörigen Längsschwingungen, je nach der Periode T derselben, verschiedene Formen an. Wir wollen sie so einrichten, daß sie uns die Änderung $\Delta\eta$ von Querschnitt zu Querschnitt (vgl. Fig. 2) liefert, also $\Delta x=20\cdot5\,km$ setzen. Die Acceleration der Schwerkraft hat ferner für die mittlere geographische Breite der Adria $\varphi=43°$, den Wert $g=9\cdot804\,m.\text{Sek.}^{-2}$. Durch Einsetzen der einzelnen Werte von T ergeben sich folgende Formeln:

für M_2	$T=12\cdot4206$	Stunden	$\Delta\eta=0\cdot00004129.\xi$
» S_2	$T=12\cdot0000$	»	$\Delta\eta=0\cdot00004423.\xi$
» N	$T=12\cdot6584$	»	$A\eta=0\cdot00003975.\xi$
» K_2	$T=11\cdot9672$	»	$\Delta\eta=0\cdot00004448.\xi$
» K_1	$T=23\cdot9344$	»	$\Delta\eta=0\cdot00001112\ \xi$
» P	$T=24\cdot0659$	»	$\Delta\eta=0\cdot00001100.\xi$
» O	$T=25\cdot8194$	»	$\Delta\eta=0\cdot00000955.\xi$

Ganz dieselben Gleichungen gelten auch für Größen ξ' und η', die den Größen ξ und η proportional sind. Ein solches System proportionaler Werte wollen wir zunächst auch herstellen, indem wir ganz willkürlich am inneren Ende der Adria die Amplitude $\eta'=\pm50\,cm$ ansetzen (vgl. die folgende Tabelle ohne die beiden letzten Kolumnen). Wir nehmen an, daß der Wert η' bis zum zweiten Querschnitte der gleiche bleibe und berechnen durch Multiplikation mit dem bis zum zweiten Querschnitte reichenden

[1] Vgl. H. Lamb, Lehrbuch der Hydrodynamik, deutsch von J. Friedel, Leipzig 1907, p. 297 und 298, Gleichungen (4) und (11).

Oberflächenelemente ΔO das Wasserquantum $\Delta O . \eta'$, das durch den zweiten Querschnitt im Laufe eines Viertels der Periode (nämlich von der Mittellage bis zum Hochwasser) hindurchgeschoben wird und das dem Integral auf der rechten Seite der Gleichung (2) entspricht. Durch Division mit der negativen Querschnittsfläche $-S$ ergibt sich daraus die Horizontalverschiebung ξ' am Querschnitt 2, und hieraus auf Grund der Gleichung (1) die Änderung $\Delta\eta'$ vom ersten zum zweiten Querschnitt, somit auch der Wert η' am zweiten Querschnitt. Diesen betrachten wir wieder bis zum dritten Querschnitt als konstant und berechnen das Wasserquantum, das sich durch Multiplikation mit dem zwischen dem zweiten und dritten Querschnitte gelegenen Oberflächenelement ΔO ergibt, addieren letzteres zu dem uns bereits bekannten durch den Querschnitt 2 hindurchgeschobenen Quantum und erhalten so den Wert q' des Integrales auf der rechten Seite von (2) an der Stelle des dritten Querschnittes, hieraus nach Division mit der negativen Querschnittsfläche $-S$ die Horizontalverschiebung ξ' am dritten Querschnitt im Laufe eines Viertels der Periode. Aus der Gleichung (1) berechnet sich daraus wieder die Änderung $\Delta\eta'$ vom zweiten bis zum dritten Querschnitt und somit auch den Wert η' am dritten Querschnitt. So schreiten wir bis zum Ende der Adria weiter, indem wir sukzessive die durch die einzelnen Querschnitte hindurchgeschobenen Wassermengen und damit die Änderung $\Delta\eta'$ von Querschnitt zu Querschnitt berechnen.

Über das Vorzeichen der Größen η' und η treffen wir die Vereinbarung, daß wir es am Nordende der Adria positiv wählen, wenn der betreffenden Partialtide daselbst eine von 90° nicht stark unterschiedene Kappazahl zugehört, dagegen negativ, wenn diese Kappazahl ungefähr 270° beträgt; das heißt, wir wählen das Vorzeichen bei den Amplituden sämtlicher halbtägigen Tiden negativ, bei jenen der ganztägigen positiv, da die beobachteten reduzierten Kappazahlen in Triest bei

M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O
276°	283°	285°	279°	69°	73°	57°

betragen. Damit ist dann auch die Vorzeichenregel für die Werte ξ' bereits festgelegt; ein Wert ξ' ist positiv, wenn die Amplitude η' an der betreffenden Stelle beim Fortschreiten gegen die Mündung hin (im algebraischen Sinne) zunimmt, negativ, wenn sie an der betreffenden Stelle abnimmt.

Der Quarnero wurde als Golf des Adriatischen Meeres bei der Rechnung besonders berücksichtigt, indem der eben geschilderte Vorgang zunächst nur bis zum Querschnitt 8 eingehalten, dann am inneren Ende des Quarnero neuerdings mit dem Anfangswerte $\eta' = \pm 50\,cm$ begonnen und bis zum Querschnitte 8* gerechnet wurde, woselbst durch Multiplikation mit einer geeigneten Verhältniszahl die Koinzidenz mit der am Querschnitt 8 im Hauptkanal gefundenen Amplitude η' hergestellt wurde. Mit dieser Verhältniszahl mußten dann selbstverständlich alle Werte η' und ξ' innerhalb des Quarnero multipliziert werden (die Resultate sind über die ursprünglichen Werte darübergesetzt) sowie auch das Quantum q', das durch den Querschnitt 8* hindurchgeschoben wird. Erst nach dieser Multiplikation wurde es dann zu dem durch den Querschnitt 8 hindurchgeschobenen Quantum hinzuaddiert und die Rechnung von hier aus bis ans Ende der Adria ohne weitere Unterbrechung fortgesetzt.

Nachdem so der theoretische Verlauf der Amplituden η' längs der ganzen Adria berechnet war, wurde durch Multiplikation aller Größen η' und ξ' mit einem entsprechenden Proportionalitätsfaktor erreicht, daß an einer Stelle Übereinstimmung mit den daselbst beobachteten Amplituden der Längsschwingung besteht. Als diese Stelle wurde, da uns die Amplituden an der Mündungsstelle der Adria nicht bekannt sind, die Gegend des südlichen Schwingungsbauches der Halbtagsgezeiten gewählt, also die vier Stationen Comisa, Pelagosa, Ragusa und Meljine (vgl. Tabelle 3) zur Bestimmung dieses Faktors verwendet, der folgende Werte erhielt: bei

M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O
0·4563	0·2829	0·0816	0·0863	0·3223	0·0997	0·0917.

Die mit ihm multiplizierten Werte ξ' und η' wurden schließlich als ξ und η in die beiden letzten Kolumnen der Tabelle eingetragen.

Die Rechnung ist im folgenden bei den Partialtiden M_2, S_2 und K_1 so ausführlich wiedergegeben, daß sie an jeder Stelle nachgeprüft werden kann, während bei den vier übrigen bloß die Resultate für ξ und η angegeben sind. Die Tabelle bedarf nach den vorstehenden Ausführungen keiner weiteren Erläuterung.

Tabelle 4.

Querschnitt	ΔO km^2	$\Delta O.\eta'$ km^3	q' km^3	S km^2	ξ' m	$\Delta\eta'$ cm	η' cm	ξ m	η cm
M_2.									
1	—	—	—	—	0·0	—	—50·000	0·0	—22·82
2	2440	—1·2200	—1·2200	1·93	632·1	2·610	—47·390	288·4	—21·63
3	2019	—0·9568	—2·1768	2·55	853·7	3·525	—43·865	389·6	—20·02
4	1948	—0·8545	—3·0313	2·85	1063·7	4·392	—39·473	485·4	—18·01
5	2163	—0·8538	—3·8851	3·80	1022·6	4·222	—35·251	466·6	—16·09
6	2573	—0·9070	—4·7921	4·43	1081·6	4·466	—30·785	493·6	—14·05
7	2716	—0·8361	—5·6282	5·45	1032·8	4·264	—26·521	471·3	—12·10
8	2768	—0·7341	—6·3623	5·54	1148·4	4·742	—21·779	524·0	— 9·94
6*	—	—	—	—	0·0	—	—22·509 —50·000	0·0	—10·27
7*	246	—0·0554 —0·1230	—0·0554 —0·1230	1·10	50·3 111·8	0·208 0·462	—22·301 —49·538	23·0	—10·18
8*	800	—0·1784 —0·3963	—0·2338 —0·5193	1·85	126·4 280·7	0·522 1·159	—21·779 —48·379	57·7	— 9·94
9	3844	—0·8372	—6·5961 —7·4333	9·08	818·4	3·379	—18·400	373·5	— 8·40
10	3567	—0·6563	—8·0896	7·72	1047·6	4·326	—14·074	478·1	— 6·42
11	3311	—0·4660	—8·5556	8·36	1023·2	4·225	— 9·849	466·9	— 4·49
12	3188	—0·3140	—8·8696	8·22	1079·4	4·457	— 5·392	492·6	— 2·46
13	3116	—0·1680	—9·0376	8·20	1102·6	4·553	— 0·839	503·1	— 0·38
14	3147	—0·0264	—9·0640	9·22	983·4	4·060	3·221	448·8	1·47
15	3188	0·1027	—8·9613	10·9	822·1	3·394	6·615	375·1	3·02
16	3424	0·2265	—8·7348	14·9	586·2	2·420	9·035	267·5	4·12
17	3711	0·3353	—8·3995	22·9	366·8	1·515	10·550	167·4	4·81
18	3844	0·4055	—7·9940	32·8	243·7	1·006	11·556	111·2	5·27
19	3813	0·4406	—7·5534	26·1	289·4	1·195	12·751	132·1	5·82
20	3936	0·5019	—7·0515	24·1	292·6	1·208	13·959	133·5	6·37
21	4203	0·5867	—6·4648	21·9	295·2	1·219	15·178	134·7	6·93
22	4039	0·6130	—5·8518	19·3	298·6	1·233	16·411	136·3	7·49
23	3680	0·6039	—5·2479	18·6	282·1	1·165	17·576	128·7	8·02
24	3434	0·6036	—4·6443	16·3	284·9	1·176	18·752	130·0	8·56
25	3567	0·6689	—3·9754	15·6	254·8	1·052	19·804	116·3	9·04
26	4028	0·7977	—3·1777	24·1	131·8	0·544	20·348	60·1	9·29
27	4121	0·8385	—2·3392	38·0	61·6	0·254	20·602	28·1	9·40
28	4080	0·8406	—1·4986	89·6	16·7	0·069	20·671	7·6	9·43
29	4182	0·8645	—0·6341	117·7	5·4	0·022	20·693	2·5	9·44
30	4131	0·8548	0·2207	139·7	— 1·6	—0·007	20·686	— 0·7	9·44
31	4028	0·8332	1·0539	149·6	— 7·0	—0·029	20·657	— 3·2	9·43
32	4049	0·8364	1·8903	131·6	—14·4	—0·059	20·598	— 6·6	9·40
33	4059	0·8361	2·7264	134·3	—20·3	—0·084	20·514	— 9·3	9·36
34	3998	0·8201	3·5465	104·8	—33·8	—0·140	20·374	—15·4	9·30

Querschnitt	ΔO km^2	$\Delta O.\eta'$ km^3	q' km^3	S km^2	ξ' m	$\Delta\eta'$ cm	η' cm	ξ m	η cm
35	3967	0·8082	4·3547	65·4	— 66·6	—0·275	20·099	— 30·4	9·17
36	3516	0·7067	5·0614	54·0	— 93·7	—0·387	19·712	— 42·8	9·00
37	2952	0·5819	5·6433	39·2	—144·0	—0·595	19·117	— 65·7	8·72
38	2604	0·4978	6·1411	32·7	—187·8	—0·775	18·342	— 85·7	8·37
39	2081	0·3817	6·5228	27·1	—240·7	—0·994	17·348	—109·8	7·92
40	1753	0·3041	6·8269	37·3	—183·0	—0·756	16·592	— 83·5	7·57
				S_2.					
1	—	—	—	—	0·0	—	—50·000	0·0	—14·15
2	2440	—1·2200	—1·2200	1·93	632·1	2·796	—47·204	178·8	—13·36
3	2019	—0·9530	—2·1730	2·55	852·3	3·770	—43·434	241·1	—12·29
4	1948	—0·8461	—3·0191	2·85	1059·4	4·686	—38·748	299·7	—10·96
5	2163	—0·8381	—3·8572	3·80	1015·2	4·490	—34·258	287·2	— 9·69
6	2573	—0·8815	—4·7387	4·43	1069·5	4·730	—29·528	302·6	— 8·35
7	2716	—0·8020	—5·5407	5·45	1016·7	4·497	—25·031	287·7	— 7·08
8	2768	—0·6929	—6·2336	5·54	1125·2	4·977	—20·054	318·4	— 5·67
6*	—	—	—	—	0·0	—	—20·775 —50·000	0·0	— 5·88
7*	246	—0·0511 —0·1230	—0·0511 —0·1230	1·10	46·5 111·8	0·205 0·494	—20·570 —49·506	13·2	— 5·82
8*	800	—0·1645 —0·3960	—0·2156 —0·5190	1·85	116·5 280·5	0·516 1·241	—20·054 —48·265	33·0	— 5·67
9	3844	—0·7709	—6·4492 —7·2201	9·08	794·9	3·516	—16·538	224·9	— 4·68
10	3567	—0·5899	—7·8100	7·72	1011·4	4·473	—12·065	286·2	— 3·41
11	3311	—0·3995	—8·2095	8·36	981·9	4·343	— 7·722	277·8	— 2·18
12	3188	—0·2462	—8·4557	8·22	1029·1	4·552	— 3·170	291·2	— 0·90
13	3116	—0·0988	—8·5545	8·20	1043·6	4·616	1·446	295·3	0·41
14	3147	0·0455	—8·5090	9·22	923·2	4·083	5·529	261·2	1·56
15	3188	0·1763	—8·3327	10·9	764·4	3·381	8·910	216·3	2·52
16	3424	0·3051	—8·0276	14·9	538·7	2·383	11·293	152·4	3·20
17	3711	0·4191	—7·6085	22·9	332·3	1·470	12·763	94·0	3·61
18	3844	0·4906	—7·1179	32·8	217·0	0·960	13·723	61·4	3·88
19	3813	0·5233	—6·5946	26·1	252·6	1·117	14·840	71·5	4·20
20	3936	0·5841	—6·0105	24·1	249·4	1·103	15·943	70·6	4·51
21	4203	0·6701	—5·3404	21·9	243·8	1·078	17·021	69·0	4·82
22	4039	0·6875	—4·6529	19·6	237·4	1·050	18·071	67·2	5·11
23	3680	0·6650	—3·9879	18·6	214·4	0·948	19·019	60·7	5·38
24	3434	0·6531	—3·3348	16·3	204·6	0·905	19·924	57·9	5·64
25	3567	0·7107	—2·6241	15·6	168·2	0·744	20·668	47·6	5·85
26	4028	0·8325	—1·7916	24·1	74·3	0·329	20·997	21·0	5·94
27	4121	0·8653	—0·9263	38·0	24·4	0·108	21·105	6·9	5·97
28	4080	0·8611	—0·0652	89·6	0·7	0·003	21·108	0·2	5·97
29	4182	0·8827	0·8175	117·7	— 6·9	—0·031	21·077	— 2·0	5·96
30	4131	0·8707	1·6882	139·7	—12·1	—0·054	21·023	— 3·4	5·95
31	4028	0·8468	2·5350	149·6	—16·9	—0·075	20·948	— 4·8	5·93
32	4049	0·8482	3·3832	131·6	—25·7	—0·114	20·834	— 7·3	5·89

Querschnitt	ΔO km^2	$\Delta O.\eta'$ km^3	q' km^3	S km^2	ξ' m	$\Delta\eta'$ cm	η' cm	ξ m	η cm
33	4059	0·8457	4·2289	134·3	— 31·5	—0·139	20·695	— 8·9	5·86
34	3998	0·8274	5·0563	104·8	— 48·2	—0·213	20·482	—13·6	5·80
35	3967	0·8125	5·8688	65·4	— 89·7	—0·397	20·085	—25·4	5·68
36	3516	0·7062	6·5750	54·0	—121·8	—0·539	19·546	—34·5	5·53
37	2952	0·5770	7·1520	39·2	—182·4	—0·807	18·739	—51·6	5·30
38	2604	0·4880	7·6400	32·7	—233·6	—1·033	17·706	—66·1	5·01
39	2081	0·3685	8·0085	27·1	—295·5	—1·307	16·399	—83·6	4·64
40	1753	0·2875	8·2960	37·3	—222·4	—0·984	15·415	—62·9	4·36

K_1.

Querschnitt	ΔO km^2	$\Delta O.\eta'$ km^3	q' km^3	S km^2	ξ' m	$\Delta\eta'$ cm	η' cm	ξ m	η cm
1	—	—	—	—	0·0	—	50·000	0·0	16·11
2	2440	1·2200	1·2200	1·93	— 632·1	—0·703	49·297	—203·7	15·89
3	2019	0·9953	2·2153	2·55	— 868·8	—0·966	48·331	—280·0	15·58
4	1948	0·9415	3·1568	2·85	—1107·7	—1·232	47·099	—357·0	15·18
5	2163	1·0188	4·1756	3·80	—1099·0	—1·222	45·877	—354·2	14·79
6	2573	1·1804	5·3560	4·43	—1208·8	—1·344	44·533	—389·6	14·35
7	2716	1·2095	6·5655	5·45	—1204·8	—1·340	43·193	—388·3	13·92
8	2768	1·1956	7·7611	5·54	—1400·9	—1·558	41·635	—451·5	13·41
6*	—	—	—	—	0·0	—	42·003 50·000	0·0	13·54
7*	246	0·1033 0·1230	0·1033 0·1230	1·10	— 93·9 — 111·8	—0·104 —0·124	41·899 49·876	— 30·3	13·50
8*	800	0·3352 0·3990	0·4385 0·5220	1·85	— 237·0 — 282·1	—0·264 —0·314	41·635 49·562	— 76·4	13·41
9	3844	1·6004	8·1996 9·8000	9·08	—1079·0	—1·200	40·435	—347·8	13·03
10	3567	1·4423	11·2423	7·72	—1455·9	—1·619	38·816	—469·3	12·51
11	3311	1·2852	12·5275	8·36	—1498·3	—1·666	37·150	—482·9	11·97
12	3188	1·1843	13·7118	8·22	—1668·7	—1·856	35·294	—537·9	11·38
13	3116	1·0998	14·8116	8·20	—1807·0	—2·009	33·285	—582·4	10·73
14	3147	1·0475	15·8591	9·22	—1720·7	—1·913	31·372	—554·6	10·11
15	3188	1·0001	16·8592	10·9	—1546·7	—1·720	29·652	—498·5	9·56
16	3424	1·0153	17·8745	14·9	—1199·6	—1·334	28·318	—386·7	9·13
17	3711	1·0509	18·9254	22·9	— 826·5	—0·919	27·399	—266·3	8·83
18	3844	1·0532	19·9786	32·8	— 609·1	—0·677	26·722	—196·3	8·61
19	3813	1·0189	20·9975	26·1	— 804·4	—0·894	25·828	—259·2	8·32
20	3936	1·0166	22·0141	24·1	— 913·4	—1·016	24·812	—294·4	8·00
21	4203	1·0428	23·0569	21·9	—1052·8	—1·171	23·641	—339·3	7·62
22	4039	0·9549	24·0118	19·6	—1225·1	—1·362	22·279	—394·8	7·18
23	3680	0·8199	24·8317	18·6	—1335·0	—1·485	20·794	—430·3	6·70
24	3434	0·7141	25·5458	16·3	—1567·2	—1·743	19·051	—505·1	6·14
25	3567	0·6795	26·2253	15·6	—1681·0	—1·869	17·182	—541·8	5·53
26	4028	0·6921	26·9174	24·1	—1116·8	—1·242	15·940	—360·0	5·13
27	4121	0·6569	27·5743	38·0	— 725·8	—0·807	15·133	—233·9	4·88
28	4080	0·6174	28·1917	89·6	— 314·6	—0·350	14·783	—101·4	4·76
29	4182	0·6182	28·8099	117·7	— 244·8	—0·272	14·511	— 78·9	4·68
30	4131	0·5994	29·4093	139·7	— 210·5	—0·234	14·277	— 67·8	4·60

Quer-schnitt	Δ O km^2	Δ O.η' km	q' km^3	S km^2	ξ' m	Δη' cm	η' cm	ξ m	η cm
31	4028	0·5751	29·9844	149·6	— 200·4	—0·223	14·054	— 64·6	4·53
32	4049	0·5690	30·5534	131·6	— 232·2	—0·258	13·796	— 74·8	4·44
33	4059	0·5600	31·1134	134·3	— 231·7	—0·258	13·538	— 74·7	4·36
34	3998	0·5412	31·6546	104·8	— 302·0	—0·336	13·202	— 97·3	4·26
35	3967	0·5237	32·1783	65·4	— 492·0	—0·547	12·655	—158·6	4·08
36	3516	0·4449	32·6232	54·0	— 604·2	—0·672	11·983	—194·7	3·86
37	2952	0·3537	32·9769	39·2	— 841·2	—0·935	11·048	—271·1	3·57
38	2604	0·2877	33·2646	32·7	—1017·2	—1·131	9·917	—327·8	3·20
39	2081	0·2064	33·4710	27·1	—1235·1	—1·373	8·544	—398·1	2·76
40	1753	0·1498	33·6208	37·3	— 901·4	—1·002	7·542	—290·5	2·44

N, K_2, P, O.

Quer-schnitt	N		K_2		P		O	
	ξ m	η cm	ξ m	η cm	ξ m	η cm	ξ m	η cm
1	0·0	—4·08	0·0	—4·31	0·0	4·99	0·0	4·58
2	51·6	—3·88	54·5	—4·07	— 63·0	4·92	— 57·9	4·52
3	69·7	—3·60	73·5	—3·74	— 86·7	4·82	— 79·7	4·45
4	87·0	—3·25	91·4	—3·34	—110·5	4·70	—101·7	4·35
5	83·7	—2·92	87·5	—2·95	—109·7	4·58	—101·1	4·26
6	88·8	—2·56	92·2	—2·54	—120·7	4·45	—111·4	4·15
7	85·0	—2·23	87·6	—2·15	—120·3	4·32	—111·3	4·05
8	94·8	—1·85	96·9	—1·72	—139·9	4·16	—129·7	3·92
6*	0·0	—1·91	0·0	—1·78	0·0	4·20	0·0	3·95
7*	4·2	—1·89	4·0	—1·76	— 9·4	4·19	— 8·8	3·94
8*	10·7	—1·85	10·0	—1·72	— 23·7	4·16	— 22·3	3·92
9	67·9	—1·58	68·4	—1·41	—107·8	4·04	—100·2	3·83
10	87·1	—1·23	87·0	—1·03	—145·4	3·88	—135·5	3·70
11	85·3	—0·90	84·4	—0·65	—149·7	3·71	—139·8	3·57
12	90·3	—0·54	88·4	—0·26	—166·7	3·53	—156·1	3·42
13	92·6	—0·17	89·6	0·14	—180·6	3·34	—169·5	3·25
14	82·9	0·16	79·2	0·49	—172·0	3·15	—161·8	3·10
15	69·6	0·43	65·5	0·78	—154·6	2·98	—146·8	2·96
16	49·9	0·63	46·1	0·99	—120·0	2·84	—113·5	2·85
17	31·5	0·76	28·4	1·12	— 82·6	2·75	— 78·5	2·78
18	21·1	0·84	18·5	1·20	— 60·9	2·69	— 58·0	2·72
19	25·2	0·95	21·5	1·29	— 80·5	2·60	— 76·9	2·65
20	25·8	1·05	21·2	1·39	— 91·5	2·50	— 87·6	2·56
21	26·4	1·15	20·7	1·48	—105·4	2·39	—101·4	2·47
22	27·1	1·26	20·0	1·57	—122·7	2·25	—118·3	2·36
23	26·1	1·36	18·0	1·65	—133·7	2·10	—129·3	2·22
24	26·9	1·47	17·1	1·73	—157·0	1·93	—152·2	2·08
25	24·8	1·57	13·9	1·79	—168·5	1·75	—163·9	1·92
26	13·4	1·62	6·0	1·81	—111·9	1·62	—109·2	1·82

Querschnitt	N		K_2		P		O	
	ξ m	η cm	ξ m	η cm	ξ m	η cm	ξ m	η cm
27	6·7	1·65	1·8	1·82	— 72·7	1·54	— 71·3	1·76
28	2·1	1·66	0·0	1·82	— 31·5	1·50	— 31·1	1·73
29	1·0	1·66	— 0·7	1·82	— 24·5	1·47	— 24·2	1·70
30	0·4	1·67	— 1·1	1·81	— 21·1	1·45	— 20·9	1·68
31	— 0·1	1·67	— 1·5	1·81	— 20·1	1·44	— 20·0	1·66
32	— 0·6	1·66	— 2·3	1·80	— 23·3	1·41	— 23·3	1·64
33	— 1·1	1·66	— 2·8	1·79	— 23·3	1·38	— 23·3	1·61
34	— 2·1	1·65	— 4·3	1·77	— 30·4	1·35	— 30·4	1·59
35	— 4·3	1·63	— 7·9	1·73	— 49·5	1·29	— 49·7	1·54
36	— 6·3	1·61	—10·7	1·68	— 60·7	1·22	— 61·2	1·48
37	— 9·9	1·57	—16·0	1·61	— 84·6	1·13	— 85·5	1·40
38	—13·1	1·51	—20·5	1·52	—102·3	1·03	—103·5	1·30
39	—17·0	1·45	—25·9	1·41	—124·2	0·88	—126·0	1·18
40	—13·0	1·39	—19·4	1·32	— 90·7	0·79	— 92·1	1·10

Der Durchgang der Werte η durch Null kennzeichnet die Lage einer Knotenlinie der betreffenden Längsschwingung. Wir sehen also aus der Tabelle, daß bei den halbtägigen Partialtiden M_2, S_2, N und K_2 nach der Theorie je eine Knotenlinie der Längsschwingung entstehen muß, die in allen vier Fällen ungefähr beim Querschnitte 13 liegt. Was die Schwingungsbäuche betrifft, so entsteht bei den Halbtagskomponenten außer am inneren Ende der Adria noch ein zweiter Schwingungsbauch bei Querschnitt 28 bis 30, also in der Gegend von Ragusa (Durchgang der Werte ξ durch Null). Von hier aus nehmen die Amplituden η bis zur Mündung der Adria wieder ab.

Anders ist es bei den ganztägigen Komponenten. Hier zeigen die Werte η vom inneren Ende bis zur Mündung eine ziemlich gleichmäßige Abnahme, ohne aber dabei bis auf Null herabzusinken, so daß wir in der ganzen Adria keine Knotenlinie der entsprechenden Längsschwingungen anzunehmen haben.

2. Die theoretischen Querschwingungen.

Zu den einzelnen Längsschwingungen, deren Amplituden wir soeben theoretisch ermittelt haben, muß nun infolge der Erdrotation noch je eine Querschwingung hinzutreten. Die Methode zur Berechnung dieser Querschwingungen habe ich in der ersten der eingangs zitierten Abhandlungen eingehend auseinandergesetzt und auf die vereinigte Sonnen- und Mondflut zur Zeit der Syzygien angewandt. Ich kann mich daher im folgenden ziemlich kurz fassen.

Die Längsschwingungen, die den einzelnen Partialtiden zugehören, sind mit bestimmten Horizontalverschiebungen an den einzelnen Querschnitten verbunden, die durch die Größen ξ gemessen werden. ξ bedeutet nämlich die Verschiebung der Wasserteilchen im Laufe eines Viertels der Periode T der betreffenden Gezeitenkomponente. Die mittlere Geschwindigkeit der Wasserteilchen beträgt somit an der betreffenden Stelle $c = \frac{4\xi}{T}$. Da die Geschwindigkeit der Verschiebung überdies eine periodische Funktion der Zeit ist, so erhalten wir die Maximalgeschwindigkeit v, die beim Durchgang durch die Ruhelage erreicht wird, durch Multiplikation der mittleren Geschwindigkeit mit $\frac{\pi}{2}$. Dies folgt unmittelbar aus der selbstverständlichen Relation

$$\frac{T}{2} c = \int_0^{\frac{T}{2}} v \sin \frac{2\pi t}{T} dt = v \frac{T}{\pi}.$$

Die Maximalgeschwindigkeit beträgt somit, durch ξ ausgedrückt,

$$v = \frac{2\xi\pi}{T}$$

und ist nach dem Verlaufe je einer halben Periode abwechselnd nach Nordwesten und nach Südosten gerichtet.

Auf das mit der Geschwindigkeit v in der Richtung der Mittellinie der Adria bewegte Wasserteilchen wirkt nun die Endrotation ablenkend ein. Sie erzeugt eine im Vergleich zur Bewegungsrichtung nach rechts gerichtete Beschleunigung im Betrage $2\,\omega \sin\varphi . v$, wo φ die geographische Breite und $\omega = 0{\cdot}0000729212$ die Winkelgeschwindigkeit der Erde, das heißt den Drehungswinkel der Erde im absoluten Maß im Verlauf einer Sekunde bedeutet. Diese nach rechts gerichtete Beschleunigung setzt sich mit der Erdschwere zu einer Resultierenden zusammen. Der Neigungswinkel α dieser Resultierenden gegen die Vertikale ist somit durch die Beziehung gegeben

$$\tan\alpha = \frac{2\,\omega\sin\varphi}{g} . v.$$

Die Niveaufläche, die zu dieser Resultierenden senkrecht steht, muß also gleichfalls periodische Neigungen um $\pm\alpha$ erfahren. Während die Wasserteilchen sich in einem bestimmten Querschnitt mit der Maximalgeschwindigkeit nach Südosten verschieben, wird die Niveaufläche im Südwesten, also an der italienischen Küste gehoben, an der dalmatinischen gesenkt sein; nach Verlauf einer halben Periode, wo sich dann die Wasserteilchen mit der gleichen Geschwindigkeit nach Nordwesten bewegen, wird sie um den gleichen Betrag an der dalmatinischen Küste gehoben und an der italienischen gesenkt sein. Unter der Annahme, daß die Wasseroberfläche jeweils die Lage der Niveaufläche einnimmt, muß auf diese Weise eine Querschwingung entstehen. Ihre Phase ist gegen jene der Längsschwingung um ein Viertel der Periode verschoben, da die Maximalgeschwindigkeiten gerade in den Zeitpunkten erreicht werden, in denen die Längsschwingung überall die Amplitude Null hat.

Um diese Querschwingung in einem bestimmten Linearmaß darzustellen, ist es praktisch, sie wieder auf die ideale Entfernung von 100 *km* von der Mittellinie zu beziehen, also das Produkt $100\,km . \tan\alpha$ zu berechnen. Zu diesem Zwecke setzen wir den Wert von v in den Ausdruck für $\tan\alpha$ ein, müssen dabei jedoch beachten, daß sich ω auf eine Sekunde als Zeiteinheit bezieht, also statt der Maßzahl der in Stunden ausgedrückten Periode T der Wert $3600\,T$ in die Formel einzusetzen ist. Wir erhalten

$$100\,km . \tan\alpha = 100\,km . \frac{4\,\omega . \sin\varphi . \pi}{g . 3600} \cdot \frac{1}{T} . \xi = \frac{10^3\,\omega\sin\varphi . \pi}{9\,g} . \frac{1}{T} . \xi,$$

wobei g in der Einheit $m . \mathrm{Sek}^{-2}$ auszudrücken ist.

Der Koeffizient von $\frac{1}{T}\xi$ wird nun von Querschnitt zu Querschnitt einen etwas anderen Wert besitzen; wir wollen ihn für den ersten und 40. Querschnitt exakt berechnen und dann für die übrigen Querschnitte proportional interpolieren; für den Querschnitt 1 ist

$$\varphi = 45{\cdot}6° \quad \sin\varphi = 0{\cdot}71447 \quad g = 9{\cdot}8066 \quad \frac{10^3\,\omega\sin\varphi . \pi}{9\,g} = 0{\cdot}0018545,$$

für den Querschnitt 40

$$\varphi = 40{\cdot}3° \quad \sin\varphi = 0{\cdot}64679 \quad g = 9{\cdot}8020 \quad \frac{10^3\,\omega\sin\varphi . \pi}{9\,g} = 0{\cdot}0016796.$$

Durch Multiplikation mit $\frac{1}{T}$, wobei T in Stunden ausgedrückt ist, und proportionale Interpolation von Querschnitt zu Querschnitt ergibt sich daraus der Koeffizient von ξ, dessen Werte in der ersten Kolumne der folgenden Tabelle verzeichnet sind.

Die sich hieraus nach Multiplikation mit ξ ergebende Amplitude der Querschwingung in der Entfernung von 100 *km* bedarf jedoch noch einer Korrektion wegen der Trägheit des Wassers, da wir bisher bloß die Neigungen der Niveaufläche berechnet haben.

Die Einwirkung der Trägheit des Wassers hängt von der Eigenperiode τ_q ab, die der Querschwingung als freier Schwingung zugehören würde. Denken wir uns nämlich den zwischen zwei aufeinanderfolgenden Querschnitten liegenden Teil des Adriabeckens durch Vertikalebenen abgegrenzt, so haben wir gewissermaßen einen Kanal vor uns, in dessen Längsrichtung nun die ablenkende Kraft der Erdrotation genau so einwirkt wie etwa eine fluterzeugende Kraft auf einen in der Ost-West-Richtung erstreckten See. Letzterer Fall ist in Lamb's »Hydrodynamik« unter der Voraussetzung kontanter Tiefe des Kanals genau durchgerechnet. Es ergibt sich aus der Gleichung (12) p. 310 für das Ende des Kanals, dessen Länge in unserem Falle mit der Breite b der Adria an der betreffenden Stelle identisch ist, die Amplitude

$$\bar{\eta} = \frac{hf}{\sigma c \cos \frac{\sigma b}{2c}} \sin \frac{\sigma b}{2c} = \frac{hf}{\sigma c} \tan \frac{\sigma b}{2c},$$

wo h die Tiefe, f die unter dem Einflusse der Erdrotation entstehende Beschleunigung bedeutet, ferner $\sigma = \frac{2\pi}{T}$ und $c = \sqrt{gh}$ gesetzt ist. Führen wir die Eigenperiode der Querschwingung ein, die nach der Merian'schen Formel $\tau_q = \frac{2b}{\sqrt{gh}}$ beträgt, so folgt weiter, da $\frac{f}{g} = \alpha$, nämlich gleich dem Neigungswinkel der Niveaufläche ist,

$$\bar{\eta} = \frac{hf}{\frac{2\pi}{T}\sqrt{gh}} \tan \frac{2\pi}{T} \frac{b}{2\sqrt{gh}} = \frac{\alpha gh}{\frac{2\pi}{T}\sqrt{gh}} \tan \frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{T} = \frac{\alpha b}{\pi}\frac{T}{\tau_q} \tan \frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{T} = \frac{\alpha b}{2} \frac{\tan}{\text{arc}} \frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{T}.$$

Die nach der Gleichgewichtstheorie (Neigung der Niveaufläche) berechnete Amplitude an beiden Enden, die $\frac{\alpha b}{2}$ beträgt, ist also noch mit dem Faktor $\frac{\tan}{\text{arc}} \frac{\pi}{2} \frac{\tau_q}{T}$ zu multiplizieren, um die der hydrodynamischen Theorie, das heißt der Mitberücksichtigung der Trägheit des Wassers entsprechende Amplitude der Querschwingung zu liefern.

Da die Werte τ_q, die in der Tabelle 2 berechnet sind, in keinem Falle mehr als 4·3 Stunden betragen, also sämtlich im Vergleich zu den Perioden T relativ klein sind, wird die Oberfläche auch bei Berücksichtigung der Trägheit des Wassers längs der einzelnen Querschnitte von der geradlinigen Gestalt, wie sie der Gleichgewichtstheorie entspricht, nicht nennenswert abweichen, wie ebenfalls aus der Formel (12) p. 310 in Lamb's »Hydrodynamik« leicht zu entnehmen ist. Der eben gefundene Korrektionsfaktor läßt sich also auch ohne weiteres an die Werte 100 *km*. tan α anbringen und liefert die gesuchten theoretischen Werte $\bar{\eta}_{100}$.

Die vorstehende Formel ist eigentlich unter der Voraussetzung konstanter Tiefe längs der einzelnen Querschnitte abgeleitet, hat also nur den Charakter einer Näherungsformel. Es genügt daher auch vollständig, den Korrektionsfaktor für die halb-, beziehungsweise ganztägigen Komponenten aus den abgerundeten Perioden $T = 12$ Stunden und $T = 24$ Stunden zu berechnen, wie es im Abschnitt I, 2 geschehen ist. Die dort erhaltenen Werte sind unter der Überschrift $\frac{\tan}{\text{arc}}$ in die folgende Tabelle 5 eingetragen, während die Werte ξ der Tabelle 4 entnommen sind. Die theoretischen Amplituden der Querschwingung in 100 *km* Entfernung, die in der letzten Kolumne der folgenden Tabelle verzeichnet sind, ergaben sich somit einfach als das Produkt der in den drei vorhergehenden Kolumnen enthaltenen Beträge.

Tabelle 5.

Querschnitt	Koeffizient	ξ *m*	tan / arc	η_{100} *cm*	Querschnitt	Koeffizient	ξ *m*	tan / arc	η_{100} *cm*
				M_2.					
1	0·0001493	0·0	—	0·00	21	0·0001421	134·7	1·07	2·04
2	1489	288·4	1·09	4·68	22	1417	136·3	1·07	2·07
3	1486	389·6	1·07	6·20	23	1413	128·7	1·05	1·91
4	1482	485·4	1·07	7·69	24	1410	130·0	1·06	1·94
5	1479	466·6	1·08	7·45	25	1406	116·3	1·07	1·75
6	1475	493·6	1·09	7·94	26	1403	60·1	1·06	0·89
7	1471	471·3	1·09	7·55	27	1399	28·1	1·04	0·41
8	1468	524·0	1·11	8·54	28	1395	7·6	1·02	0·11
9	1464	373·5	1·12	6·13	29	1392	2·5	1·01	0·03
10	1460	478·1	1·12	7·82	30	1388	— 0·7	1·01	—0·01
11	1457	466·9	1·10	7·48	31	1385	— 3·2	1·01	—0·04
12	1453	492·6	1·09	7·80	32	1381	— 6·6	1·01	—0·09
13	1450	503·1	1·08	7·87	33	1377	— 9·3	1·01	—0·13
14	1446	448·8	1·08	7·01	34	1374	— 15·4	1·02	—0·21
15	1442	375·1	1·07	5·79	35	1370	— 30·4	1·02	—0·43
16	1439	267·5	1·06	4·08	36	1366	— 42·8	1·02	—0·59
17	1435	167·4	1·05	2·52	37	1363	— 65·7	1·01	—0·91
18	1432	111·2	1·04	1·65	38	1359	— 85·7	1·01	—1·17
19	1428	132·1	1·04	1·97	39	1356	—109·8	1·00	—1·49
20	1424	133·5	1·06	2·01	40	1352	— 83·5	1·00	—1·13
				S_2.					
1	0·0001545	0·0	—	0·00	21	0·0001471	69·0	1·07	1·08
2	1541	178·8	1·09	3·01	22	1467	67·2	1·07	1·06
3	1538	241·1	1·07	3·97	23	1463	60·7	1·05	0·93
4	1534	299·7	1·07	4·92	24	1459	57·9	1·06	0·89
5	1530	287·2	1·08	4·74	25	1456	47·6	1·07	0·74
6	1526	302·6	1·09	5·04	26	1452	21·0	1·06	0·32
7	1523	287·7	1·09	4·77	27	1448	6·9	1·04	0·10
8	1519	318·4	1·11	5·37	28	1445	0·2	1·02	0·00
9	1515	224·9	1·12	3·82	29	1441	— 2·0	1·01	—0·03
10	1512	286·2	1·12	4·85	30	1437	— 3·4	1·01	—0·05
11	1508	277·8	1·10	4·61	31	1433	— 4·8	1·01	—0·07
12	1504	291·2	1·09	4·77	32	1430	— 7·3	1·01	—0·10
13	1500	295·3	1·08	4·78	33	1426	— 8·9	1·01	—0·13
14	1497	261·2	1·08	4·22	34	1422	—13·6	1·02	—0·19
15	1493	216·3	1·07	3·46	35	1419	—25·4	1·02	—0·37
16	1489	152·4	1·06	2·41	36	1415	—34·5	1·02	—0·50
17	1486	94·0	1·05	1·47	37	1411	—51·6	1·01	—0·74
18	1482	61·4	1·04	0·95	38	1407	—66·1	1·01	—0·94
19	1478	71·5	1·04	1·10	39	1404	—83·6	1·00	—1·17
20	1474	70·6	1·06	1·10	40	1400	—62·9	1·00	—0·88

Querschnitt	Koeffizient	ξ *m*	tan / arc	$\bar{\eta}_{100}$ *cm*	Querschnitt	Koeffizient	ξ *m*	tan / arc	$\bar{\eta}_{100}$ *cm*
				N.					
1	0·0001465	0·0	—	0·00	21	0·0001394	26·4	1·07	0·39
2	1461	51·6	1·09	0·82	22	1391	27·1	1·07	0·41
3	1458	69·7	1·07	1·08	23	1387	26·1	1·05	0·38
4	1454	87·0	1·07	1·35	24	1384	26·9	1·06	0·39
5	1451	83·7	1·08	1·31	25	1380	24·8	1·07	0·36
6	1447	88·8	1·09	1·40	26	1377	13·4	1·06	0·20
7	1444	85·0	1·09	1·33	27	1373	6·7	1·04	0·09
8	1440	94·8	1·11	1·51	28	1369	2·1	1·02	0·03
9	1437	67·9	1·12	1·09	29	1366	1·0	1·01	0·01
10	1433	87·1	1·12	1·40	30	1362	0·4	1·01	0·01
11	1430	85·3	1·10	1·34	31	1359	— 0·1	1·01	0·00
12	1426	90·3	1·09	1·41	32	1355	— 0·6	1·01	—0·01
13	1423	92·6	1·08	1·43	33	1352	— 1·1	1·01	—0·01
14	1419	82·9	1·08	1·27	34	1348	— 2·1	1·02	—0·03
15	1415	69·6	1·07	1·06	35	1345	— 4·3	1·02	—0·06
16	1412	49·9	1·06	0·74	36	1341	— 6·3	1·02	—0·09
17	1408	31·5	1·05	0·46	37	1338	— 9·9	1·01	—0·13
18	1405	21·1	1·04	0·30	38	1334	—13·1	1·01	—0·18
19	1401	25·2	1·04	0·36	39	1331	—17·0	1·00	—0·23
20	1398	25·8	1·06	0·38	40	1327	—13·0	1·00	—0·18
				K_2.					
1	0·0001550	0·0	—	0·00	21	0·0001475	20·7	1·07	0·33
2	1546	54·5	1·09	0·92	22	1471	20·0	1·07	0·31
3	1542	73·5	1·07	1·21	23	1467	18·0	1·05	0·27
4	1539	91·4	1·07	1·51	24	1463	17·1	1·06	0·27
5	1535	87·5	1·08	1·45	25	1460	13·9	1·07	0·21
6	1531	92·2	1·09	1·54	26	1456	6·0	1·06	0·10
7	1527	87·6	1·09	1·46	27	1452	1·8	1·04	0·03
8	1524	96·9	1·11	1·64	28	1448	0·0	1·02	0·00
9	1520	68·4	1·12	1·16	29	1444	— 0·7	1·01	—0·01
10	1516	87·0	1·12	1·48	30	1441	— 1·1	1·01	—0·02
11	1512	84·4	1·10	1·41	31	1437	— 1·5	1·01	—0·02
12	1509	88·4	1·09	1·45	32	1433	— 2·3	1·01	—0·03
13	1505	89·6	1·08	1·46	33	1429	— 2·8	1·01	—0·04
14	1501	79·2	1·08	1·29	34	1426	— 4·3	1·02	—0·06
15	1497	65·5	1·07	1·05	35	1422	— 7·9	1·02	—0·11
16	1493	46·1	1·06	0·73	36	1418	—10·7	1·02	—0·15
17	1490	28·4	1·05	0·44	37	1414	—16·0	1·01	—0·23
18	1486	18·5	1·04	0·28	38	1411	—20·5	1·01	—0·29
19	1482	21·5	1·04	0·33	39	1407	—25·9	1·00	—0·36
20	1478	21·2	1·06	0·33	40	1403	—19·4	1·00	—0·27

Querschnitt	Koeffizient	ξ *m*	tan / arc	$\bar{\eta}_{100}$ *cm*	Querschnitt	Koeffizient	ξ *m*	tan / arc	$\bar{\eta}_{100}$ *cm*
				K_1.					
1	0·0000775	0·0	—	0·00	21	0·0000738	—339·3	1·02	—2·55
2	773	—203·7	1·02	—1·61	22	736	—394·8	1·02	—2·96
3	771	—280·0	1·02	—2·20	23	734	—430·3	1·01	—3·19
4	769	—357·0	1·02	—2·81	24	732	—505·1	1·02	—3·78
5	768	—354·2	1·02	—2·78	25	730	—541·8	1·02	—4·03
6	766	—389·6	1·02	—3·04	26	728	—360·0	1·02	—2·67
7	764	—388·3	1·02	—3·03	27	726	—233·9	1·01	—1·71
8	762	—451·5	1·02	—3·51	28	724	—101·4	1·00	—0·73
9	760	—347·8	1·03	—2·72	29	723	— 78·9	1·00	—0·57
10	758	—469·3	1·03	—3·66	30	721	— 67·8	1·00	—0·49
11	756	—482·9	1·02	—3·73	31	719	— 64·6	1·00	—0·47
12	754	—537·9	1·02	—4·13	32	717	— 74·8	1·00	—0·54
13	753	—582·4	1·02	—4·47	33	715	— 74·7	1·00	—0·54
14	751	—554·6	1·02	—4·26	34	713	— 97·3	1·00	—0·69
15	749	—498·5	1·02	—3·81	35	711	—158·6	1·00	—1·13
16	747	—386·7	1·02	—2·94	36	709	—194·7	1·00	—1·38
17	745	—266·3	1·01	—2·01	37	708	—271·1	1·00	—1·92
18	743	—196·3	1·01	—1·48	38	706	—327·8	1·00	—2·32
19	741	—259·2	1·01	—1·94	39	704	—398·1	1·00	—2·81
20	739	—294·4	1·02	—2·21	40	702	—290·5	1·00	—2·04
				P.					
1	0·0000771	0·0	—	0·00	21	0·0000734	—105·4	1·02	—0·80
2	769	— 63·0	1·02	—0·49	22	732	—122·7	1·02	—0·92
3	767	— 86·7	1·02	—0·68	23	730	—133·7	1·01	—0·99
4	765	—110·5	1·02	—0·86	24	728	—157·0	1·02	—1·16
5	764	—109·7	1·02	—0·85	25	726	—168·5	1·02	—1·25
6	762	—120·7	1·02	—0·94	26	724	—111·9	1·02	—0·83
7	760	—120·3	1·02	—0·93	27	722	— 72·7	1·01	—0·52
8	758	—139·9	1·02	—1·08	28	720	— 31·5	1·00	—0·22
9	756	—107·8	1·03	—0·84	29	719	— 24·5	1·00	—0·17
10	754	—145·4	1·03	—1·13	30	717	— 21·1	1·00	—0·16
11	752	—149·7	1·02	—1·14	31	715	— 20·1	1·00	—0·15
12	750	—166·7	1·02	—1·28	32	713	— 23·3	1·00	—0·16
13	749	—180·6	1·02	—1·38	33	711	— 23·3	1·00	—0·16
14	747	—172·0	1·02	—1·31	34	709	— 30·4	1·00	—0·21
15	745	—154·6	1·02	—1·17	35	707	— 49·5	1·00	—0·35
16	743	—120·0	1·02	—0·91	36	705	— 60·7	1·00	—0·43
17	741	— 82·6	1·01	—0·62	37	704	— 84·6	1·00	—0·59
18	739	— 60·9	1·01	—0·45	38	702	—102·3	1·00	—0·72
19	737	— 80·5	1·01	—0·60	39	700	—124·2	1·00	—0·87
20	735	— 91·5	1·02	—0·68	40	698	— 90·7	1·00	—0·63

Querschnitt	Koeffizient	ξ *m*	tan / arc	$\bar{\eta}_{100}$ *cm*	Querschnitt	Koeffizient	ξ *m*	tan / arc	$\bar{\eta}_{100}$ *cm*
				O.					
1	0·0000718	0·0	—	0·00	21	0·0000684	—101·4	1·02	—0·70
2	716	— 57·9	1·02	—0·42	22	682	—118·3	1·02	—0·83
3	715	— 79·7	1·02	—0·58	23	680	—129·3	1·01	—0·89
4	713	—101·7	1·02	—0·74	24	678	—152·2	1·02	—1·05
5	711	—101·1	1·02	—0·74	25	677	—163·9	1·02	—1·13
6	709	—111·4	1·02	—0·81	26	675	—109·2	1·02	—0·76
7	708	—111·3	1·02	—0·81	27	673	— 71·3	1·01	—0·49
8	706	—129·7	1·02	—0·94	28	672	— 31·1	1·00	—0·21
9	704	—100·2	1·03	—0·72	29	670	— 24·2	1·00	—0·16
10	703	—135·5	1·03	—0·99	30	668	— 20·9	1·00	—0·14
11	701	—139·8	1·02	—0·99	31	666	— 20·0	1·00	—0·13
12	699	—156·1	1·02	—1·11	32	665	— 23·3	1·00	—0·15
13	697	—169·5	1·02	—1·21	33	663	— 23·3	1·00	—0·15
14	696	—161·8	1·02	—1·15	34	661	— 30·4	1·00	—0·20
15	694	—146·8	1·02	—1·04	35	660	— 49·7	1·00	—0·33
16	692	—113·5	1·02	—0·81	36	658	— 61·2	1·00	—0·40
17	691	— 78·5	1·01	—0·55	37	656	— 85·5	1·00	—0·56
18	689	— 58·0	1·01	—0·40	38	654	—103·5	1·00	—0·68
19	687	— 76·9	1·01	—0·53	39	653	—126·0	1·00	—0·83
20	685	— 87·6	1·02	—0·61	40	651	— 92·1	1·00	—0·60

Die Durchsicht der Tabelle zeigt die bemerkenswerte Tatsache, daß bei den halbtägigen Partialtiden die theoretische Amplitude der Querschwingung etwa beim Querschnitt 29 (Ragusa) ihr Vorzeichen wechselt, so daß wir eigentlich von zwei getrennten Querschwingungen mit entgegengesetzter Phase nördlich und südlich von Ragusa sprechen müssen. Im nördlichen Teil erreichen die Amplituden ihr Maximum beim Querschnitt 8, im südlichen Teil beim Querschnitt 39, also bereits in der Nähe der Mündungsstelle, und zwar ist das erstere Maximum absolut genommen etwa sechsmal größer als das zweite. Dies hängt mit den sehr bedeutenden Horizontalverschiebungen im nördlichen seichten Teil der Adria zusammen. Auch die Korrektion wegen der Trägheit des Wassers ist im nördlichen Teil bedeutend größer als im südlichen.

Bei den eintägigen Komponenten finden wir dagegen keinen Vorzeichenwechsel der Amplitude der Querschwingung. Das absolute Maximum wird hier in der Gegend des Querschnittes 13 erreicht.

Nun sind wir auch in der Lage, die Bestimmung der Werte $\varkappa_0$, die wir bereits im Abschnitt I, 3 benützt haben, auf Grund der in Pola beobachteten Kappazahlen nachzutragen. Wir kennen nämlich jetzt die Amplitude η der theoretischen Längsschwingungen in Pola (Querschnitt 7), ebenso auch die der theoretischen Querschwingungen $\bar{\eta}$, wenn wir beachten, daß Pola bloß 56 *km* von der Mittellinie entfernt ist, sich also $\bar{\eta}$ aus der Beziehung $\bar{\eta} = 0·56 . \bar{\eta}_{100}$ berechnet. Es ergibt sich somit für Pola infolge der Gleichung $\frac{\bar{\eta}}{\eta} = \tan(\varkappa - \varkappa_0)$ (vgl. den Abschnitt I, 3) und der beobachteten Werte $\varkappa$ bei

$$M_2 \qquad \frac{\bar{\eta}}{\eta} = -\frac{0·56.7·55}{12·10} = -0·3496 \qquad \varkappa - \varkappa_0 = 160·7° \qquad \varkappa = 266·7° \qquad \varkappa_0 = 106·0°$$

			$\varkappa-\varkappa_0$	$\varkappa$	$\varkappa_0$
S_2	$\frac{\bar{\eta}}{\eta} = -\frac{0\cdot56.4\cdot77}{7\cdot08}$	$= -0\cdot3771$	$\varkappa-\varkappa_0 = 159\cdot3°$	$\varkappa = 273\cdot1°$	$\varkappa_0 = 113\cdot8°$
N	$-\frac{0\cdot56.1\cdot35}{2\cdot26}$	$= -0\cdot3363$	161·4	274·0	112·6
K_2	$-\frac{0\cdot56.1\cdot46}{2\cdot15}$	$= -0\cdot3814$	159·1	271·3	112·2
K_1	$\frac{0\cdot56.3\cdot11}{14\cdot29}$	$= 0\cdot1218$	−6·9	69·1	76·0
P	$\frac{0\cdot56.0\cdot96}{4\cdot45}$	$= 0\cdot1213$	−6·9	70·1	77·0
O	$\frac{0\cdot56.0\cdot86}{4\cdot31}$	$= 0\cdot1114$	−6·4	63·3	69·7

Die benützte Relation $\frac{\bar{\eta}}{\eta} = \tan(\varkappa-\varkappa_0)$ ist für $\varkappa-\varkappa_0$ eigentlich zweideutig, es kann aber keinem Zweifel unterliegen, welcher der beiden um 180° verschiedenen Werte zu wählen ist. Ferner sei bemerkt, daß das Verhältnis $\frac{\bar{\eta}}{\eta}$ von der getroffenen Wahl des Proportionalitätsfaktors für die theoretischen Amplituden η vollkommen unabhängig ist, da diese in ganz gleicher Weise auch die Werte ξ und damit auch die Werte $\bar{\eta}$ beeinflußt. Es sind also bei dieser Bestimmung der Größen $\varkappa_0$ tatsächlich nur die beobachteten Kappazahlen von Pola verwendet worden.

3. Die theoretischen Amphidromien.

Die Zusammensetzung der Längs- und Querschwingung, die in ihren Phasen um ein Viertel der Periode verschieden sind, muß nun in jenen Fällen, in denen eine Knotenlinie der Längsschwingung vorhanden ist, also bei allen halbtägigen Tiden, zu einer Umlaufung des Meeres durch das betreffende Hochwasser führen. Während nämlich die Oberflächenteilchen bei der einen Schwingung durch die Ruhelage gehen, erreichen sie bei der anderen gerade das Maximum ihrer Elongationen, so daß das Hochwasser abwechselnd von einem Ende der Mittellinie zu einem Ende der Knotenlinie und umgekehrt übergehen muß, was der Umkreisung gleichkommt. Daß der Sinn dieser Umkreisung dem des Uhrzeigers entgegengesetzt ist, hängt einzig und allein mit der Tatsache zusammen, daß auf der nördlichen Halbkugel die ablenkende Kraft der Erdrotation im Vergleich zur Bewegungsrichtung nach rechts wirkt, so daß, während zum Beispiel das am Nordende entstandene Hochwasser abfließt, jenes der Querschwingung sich eben am westlichen Ende der Knotenlinie ansammelt. Bei den Eintagskomponenten, bei denen sich innerhalb der Adria keine Knotenlinie ausbildet, haben wir gewissermaßen nur den nördlichsten Abschnitt einer solchen Amphidromie vor uns.

Das Zentrum der Amphidromie liegt bei jeder einzelnen Halbtagstide auf der zugehörigen Knotenlinie der Längsschwingung; im übrigen bleibt diese Lage aber bis zu einem gewissen Grade unsicher, da wir nicht wissen können, ob die Querschwingung auch wirklich genau um die doch mehr oder weniger willkürlich gezogene Mittellinie des Meeres erfolgt. Bei meiner früheren Untersuchung habe ich das Zentrum etwas mehr gegen die italienische Küste verschieben müssen, um die beobachteten Hafenzeiten durch geradlinige Isorhachien darstellen zu können (vgl. Fig. 1). Die folgende Rechnung wird uns aber zeigen, daß wir die Linien gleicher reduzierter Kappazahlen namentlich südlich der Knotenlinie ziemlich stark gekrümmt anzunehmen haben, was die rasche Änderung der Hafenzeiten an der italienischen Küste vielleicht zur Genüge erklärt, so daß es immerhin möglich ist, daß das Zentrum doch so ziemlich in den Schnittpunkt mit der Mittellinie fällt. Genauen Aufschluß könnte man hierüber nur dann erhalten, wenn die harmonischen Konstanten der einen oder anderen Station in der Nähe von Ancona bekannt wären.

Wir wollen zunächst theoretisch die Winkel berechnen, unter denen sich im Zentrum jeder einzelnen Amphidromie jene Isorhachien schneiden, die dem Zuwachs der reduzierten Kappazahlen um je 30° entsprechen. Aus der Relation $\frac{\bar{\eta}}{\eta} = \tan(\varkappa - \varkappa_0)$ (Abschnitt I, 3) erhalten wir die gesuchten Isorhachien als den Ort der Punkte, in denen $\frac{\bar{\eta}}{\eta}$ dem absoluten Werte nach gleich tan 30°, tan 60°, tan 90° ist. Die Winkel, die diese Kurven mit der Mittellinie einschließen, sollen χ_1, χ_2, χ_3 heißen.

In einem Punkte in der Umgebung des Zentrums, der von der Knotenlinie der Längsschwingung um x, von der Mittellinie um y absteht, haben η und $\bar{\eta}$ die Werte:

$$\eta = x\frac{d\eta}{dx} = x\frac{4\pi^2}{gT^2}\xi$$

$$\bar{\eta} = y \tan\alpha \frac{\tan}{\text{arc}}\frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{T} = y\frac{4\,\omega\sin\varphi.\pi}{g}\frac{1}{T}\xi\frac{\tan}{\text{arc}}\frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{T}.$$

Daraus folgt, da für die Knotenlinie, die bei allen Halbtagskomponenten in der Nähe des Querschnittes 13 liegt, der Faktor $\frac{\tan}{\text{arc}}\frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{T}$ ungefähr den Wert 1·07 hat,

$$\frac{\bar{\eta}}{\eta} = \frac{y}{x}\frac{\omega\sin\varphi}{\pi}\cdot 1{\cdot}07\cdot T.$$

Zählen wir T wie bisher in Stunden, so müssen wir wieder, da sich ω auf eine Sekunde als Zeiteinheit bezieht, T durch 3600 T ersetzen. Für $\varphi = 43°\,48'$, der Mitte des Querschnittes 13 entsprechend, ergibt dann die numerische Ausrechnung

$$\frac{\bar{\eta}}{\eta} = \frac{y}{x}\cdot 0{\cdot}061885\cdot T.$$

Den Werten $\frac{\bar{\eta}}{\eta} = 0$, tan 30°, tan 60°, ∞ entspricht $\frac{y}{x} = 0$, $\tan\chi_1$, $\tan\chi_2$, $\tan\chi_3$. Es ist also

$$\tan\chi_1 = \frac{\tan 30°}{0{\cdot}061885\ T}, \qquad \tan\chi_2 = \frac{\tan 60°}{0{\cdot}061885\ T}$$

oder

$$\cot\chi_1 = 0{\cdot}107188\ T, \qquad \cot\chi_2 = 0{\cdot}035729\ T.$$

Durch Einsetzen der Werte von T findet man für die einzelnen Partialtiden

M_2	$T = 12{\cdot}4206$	$\chi_1 = 36{\cdot}9°$	$\chi_2 = 66{\cdot}1°$	$\chi_3 = 90°$
S_2	$T = 12{\cdot}0000$	$\chi_1 = 37{\cdot}9°$	$\chi_2 = 66{\cdot}8°$	$\chi_3 = 90°$
N	$T = 12{\cdot}6584$	$\chi_1 = 36{\cdot}4°$	$\chi_2 = 65{\cdot}7°$	$\chi_3 = 90°$
K_2	$T = 11{\cdot}9672$	$\chi_1 = 37{\cdot}9°$	$\chi_2 = 66{\cdot}8°$	$\chi_3 = 90°$

Außer den Winkeln im Schnittpunkte können wir aber auch noch den weiteren theoretischen Verlauf der Isorhachien feststellen. Wir können nämlich sehr leicht an den einzelnen Querschnitten jene Stellen aufsuchen, in denen $\frac{\bar{\eta}}{\eta}$ den vorgeschriebenen Wert tan 30° beziehungsweise tan 60° hat, weil ja $\bar{\eta}$ der Entfernung von der Mittellinie direkt proportional ist und in 100 *km* Entfernung den für jeden Querschnitt bereits berechneten Wert $\bar{\eta}_{100}$ hat. Nach dieser Methode ist im folgenden der Verlauf der Isorhachien für M_2, das heißt die Entfernungen $\pm d_1$ und $\pm d_2$ ihrer Schnittpunkte auf den einzelnen Querschnitten, berechnet.

Aus $\frac{\bar{\eta}}{\eta} = \frac{\pm d_1 \bar{\eta}_{100}}{100\, km \cdot \eta} = \tan 30°$ und $\frac{\bar{\eta}}{\eta} = \frac{\pm d_2 \bar{\eta}_{100}}{100\, km \cdot \eta} = \tan 60°$ ergibt sich nämlich unmittelbar

$$\pm d_1 = 57 \cdot 7350\, km \frac{\eta}{\bar{\eta}_{100}}, \qquad \pm d_2 = 173 \cdot 2051\, km \frac{\eta}{\bar{\eta}_{100}}.$$

Indem wir die Größen η und $\bar{\eta}_{100}$ für die einzelnen Querschnitte den beiden vorhergehenden Tabellen für M_2 entnehmen, erhalten wir folgende Entfernungen:

Querschnitt	$\pm d_1 =$	$\pm d_2 =$
8	67·2 *km*	201·6 *km*
9	79·1 *km*	237·3 *km*
10	47·4 *km*	142·2 *km*
11	34·7 *km*	104·0 *km*
12	18·2 *km*	54·6 *km*
13	2·8 *km*	8·4 *km*
14	12·1 *km*	36·3 *km*
15	30·1 *km*	90·3 *km*
16	58·3 *km*	174·9 *km*
17	110·2 *km*	330·6 *km*

Beim Einzeichnen dieser Entfernungen, soweit sie noch Punkte innerhalb der Adria liefern, wurde der aus der Reihe der übrigen herausfallende Wert d_1 für den Querschnitt 9 nicht berücksichtigt, die übrigen in den Entfernungen d_1 und d_2 von der Mittellinie abgesteckten Punkte ließen sich aber ohne jeden Ausgleich durch stetige Kurven verbinden, was in der Fig. 2 geschehen ist. Die reduzierten Kappazahlen sind zu den einzelnen Kurven hinzugeschrieben worden; dem südlichen Teil der Mittellinie entspricht $\varkappa_0 = 106°$, dann nehmen die Kappazahlen bei der Umkreisung entgegen dem Sinne des Uhrzeigers um je 30° zu. Die reduzierten Kappazahlen von M_2 in den einzelnen Beobachtungsstationen sind gleichfalls in der Figur angegeben und zeigen mit Ausnahme von Zara, das sich in die Reihe der übrigen Stationen aus weiter unten zu besprechenden Gründen nicht einfügt, keinen irgendwie nennenswerten Widerspruch mit den theoretischen Werten. Besonders schön stimmt der Hafen Pantera, der mit $\varkappa = 196° = \varkappa_0 + 90°$ ganz genau auf die Knotenlinie zu liegen kommt, wie es die Theorie verlangt. Auch die Winkel der Isorhachien stimmen ganz genau mit den soeben theoretisch für den Schnittpunkt berechneten überein.

Nach derselben Methode ließen sich selbstverständlich auch die zu den übrigen Halbtagskomponenten gehörigen Amphidromien genau berechnen, was wir aber nicht im einzelnen durchführen wollen, da die geringen Verschiedenheiten gegenüber der zu M_2 gehörigen durch die etwas geänderte Lage der Knotenlinie (vgl. die Tabelle der Längsschwingungen) und die vorstehend berechneten Winkel zwischen den einzelnen Isorhachien bereits in ausreichendem Maße charakterisiert sind.

4. Vergleich zwischen Beobachtung und Theorie.

Wenn wir auch die vorstehende Theorie im folgenden Hauptabschnitte noch durch eine exaktere ersetzen werden, so empfiehlt es sich doch, schon jetzt die auf Grund der Annahme bloßen Mitschwingens theoretisch gefundenen Amplituden der Längs- und Querschwingungen (Tabellen 4 und 5) mit den Beobachtungsdaten (Tabelle 3) zu vergleichen. Der Übersichtlichkeit halber habe ich diesen Vergleich in den folgenden Figuren graphisch durchgeführt. Es wird dabei hoffentlich nicht stören, daß ich der Raumersparnis zuliebe die positive Ordinatenrichtung bei einigen Kurven nach aufwärts, bei anderen nach abwärts angenommen habe. Die links fortlaufend aufgetragene Einheit entspricht einem Zentimeter. Längs der Abszissenlinie ist jeder fünfte Querschnitt durch eine Marke bezeichnet, so daß die Lage jeder einzelnen Beobachtungsstation leicht aufgefunden werden kann.

Fig. 3.

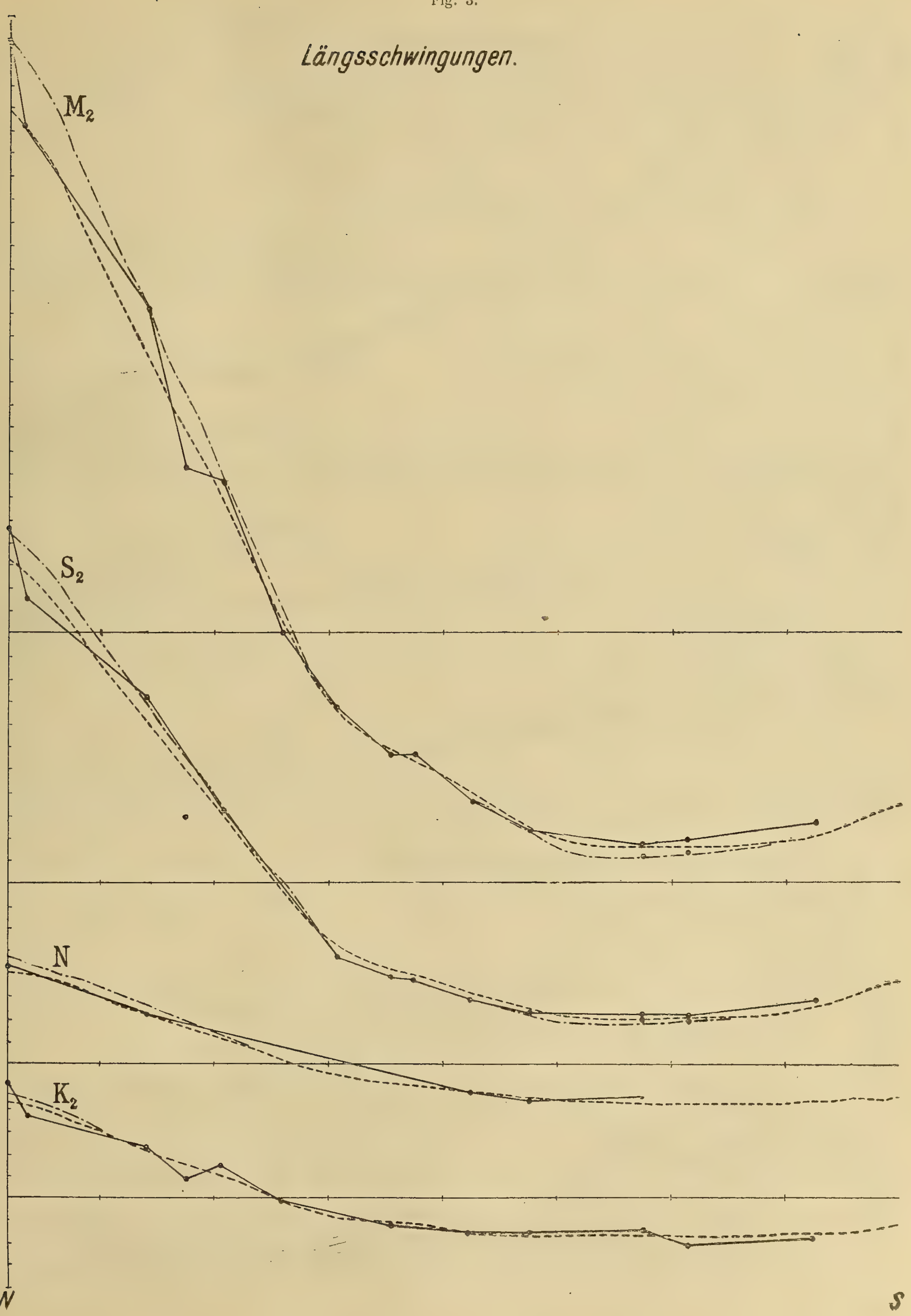
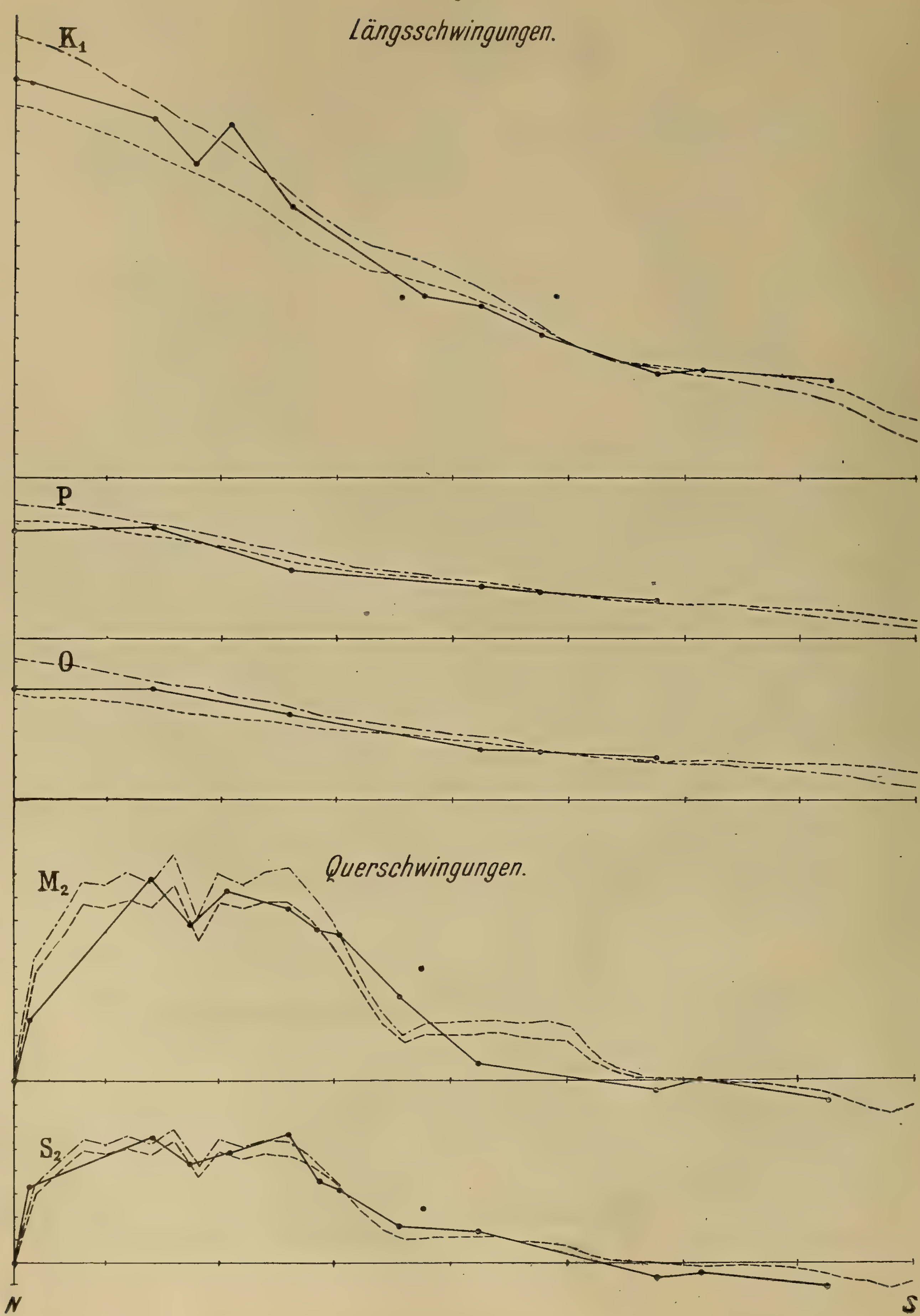
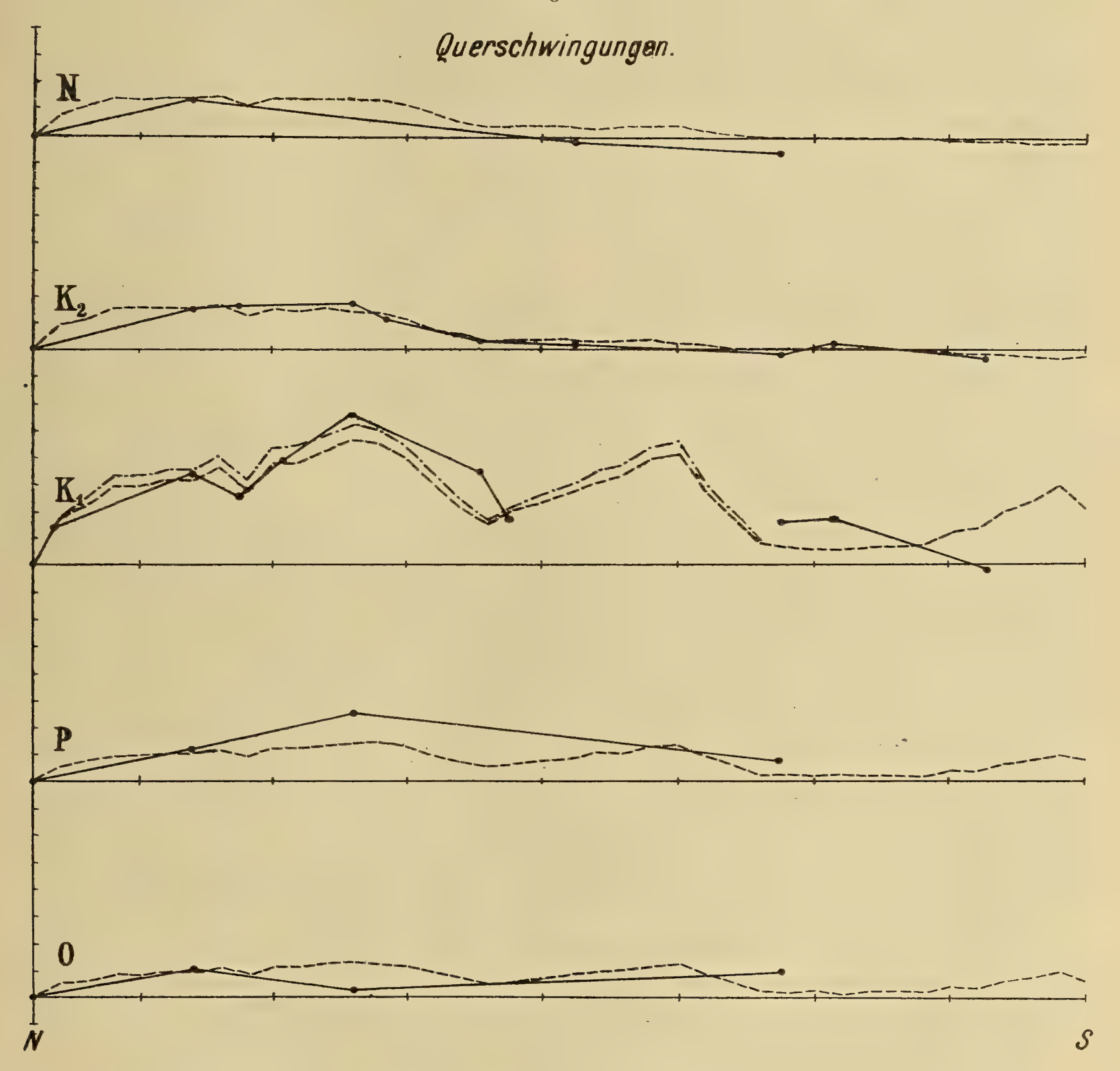


Fig. 4.



Die Punkte und ihre ausgezogenen Verbindungslinien entsprechen den Beobachtungsdaten, die gestrichelten Linien dem theoretischen Amplitudenverlauf unter der bisher festgehaltenen Voraussetzung des bloßen Mitschwingens; die strichpunktierten Kurven der erst im nächsten Hauptabschnitte behandelten genaueren Theorie bei Mitberücksichtigung der Einwirkung von Sonne und Mond auf die Adria selbst. Willkürlich gewählt ist bei den theoretischen Kurven, und zwar nur bei den Längsschwingungen, der

Fig. 5.



Maßstab für die Ordinaten, indem der unbekannte Proportionalitätsfaktor so bestimmt wurde, daß die theoretische Kurve sich in der Gegend der Querschnitte 21 bis 31 (Stationen Comisa, Pelagosa, Ragusa, Meljine) an die Beobachtungen möglichst gut anschließt. In jeder anderen Hinsicht sind die beobachteten und die theoretischen Kurven vollkommen unabhängig voneinander gewonnen. Zur Darstellung der Querschwingungen wurden die Werte $\bar{\eta}_{100}$ verwendet. Hier ist auch der Maßstab der Ordinaten von jeder Willkürlichkeit frei, indem die theoretischen Amplituden mit jenen Werten aufgetragen sind, die sich aus dem Einflusse der Erdrotation rein rechnerisch ergeben haben.

Die erzielte Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung ist in allen Fällen eine außerordentlich gute. Vor allem fällt bei den Längsschwingungen der Halbtagsgezeiten die vollständige Koinzidenz der theoretischen und beobachteten Lage der Knotenlinien auf, das heißt jener Stellen, an welchen der Durchgang der Ordinaten durch Null erfolgt. Sie ist umso überraschender, als ja die Gestaltverhältnisse der nördlichen Adria durch das Hinzutreten des Quarnero nicht einmal so besonders einfache sind, so daß man von vornherein kaum erwarten konnte, daß die Rechnung die Lage der Knotenlinien mit so großer Exaktheit ergeben werde. Sehr bemerkenswert ist ferner bei den Längsschwingungen das fast vollständige Zusammenfallen der beobachteten und theoretischen Amplituden am inneren Ende der Adria hinsichtlich ihrer absoluten Größe, da bei der Wahl des Maßstabes für die Ordinaten der theoretischen Kurven, wie erwähnt, ausschließlich die beobachteten Werte im südlichen Teil der Adria herangezogen wurden, es sich also hier gewissermaßen um einen Schluß aus dem Kleinen ins Große handelt.

Noch auffallender ist die Übereinstimmung bei den Querschwingungen, bei denen auch im Maßstabe der Ordinaten kein irgendwie willkürliches Element enthalten ist. Daß einige Punkte aus der Reihe der übrigen ein wenig herausfallen (teils nicht eingezeichnet, teils von der Verbindung ausgeschlossen), kann den Eindruck außerordentlich guten Zusammenstimmens wohl kaum vermindern; würde man doch von vornherein bei Berechnung des Einflusses der Erdrotation überhaupt kaum mehr als höchstens eine Übereinstimmung hinsichtlich der Größenordnung der Amplituden erwarten. Sowohl die beobachteten als auch die theoretischen Kurven zeigen ferner bei den Halbtagskomponenten jene Erscheinung, die ich bereits bei meiner früheren Untersuchung der Adriagezeiten festgestellt habe, daß nämlich die Querschwingungen im südlichen Teil der Adria jeweils die entgegengesetzte Phase von der im nördlichen Teil besitzen, so daß wir, wie vorhin erwähnt, eigentlich zwei getrennte Querschwingungen in den beiden Gebieten vor uns haben.[1]

Die Station Fiume ließ sich wegen ihrer besonderen Lage am inneren Ende des Quarnero in den Zeichnungen nicht berücksichtigen; die dortselbst beobachteten Amplituden stimmen mit jenen in Zengg soweit überein, daß die Aufnahme einer der beiden Quarnerostationen ausreichend erschien.

Von der Station Zara konnten nur die beobachteten Amplituden der Querschwingungen eingezeichnet werden, weil jene der Längsschwingungen sich in die Reihe der übrigen Stationen ganz und gar nicht einfügen lassen. Während nämlich bei allen Halbtagstiden südlich des Querschnittes 13 (der Knotenlinie) lauter positive Amplituden der Längsschwingungen zur Beobachtung gelangen, ergibt Zara beim Querschnitt 14·2 noch ziemlich bedeutende negative Werte, verhält sich also ungefähr wie eine Station, die am Hauptkanal der Adria etwa beim Querschnitt 11·3 liegen würde. Man kann sich dieses abweichende Verhalten auf Grund der Küstenkonfiguration auch leicht zurechtlegen. Zara liegt nämlich an einem engen Kanal, der durch die Vorlagerung der langgestreckten Inseln Ugliano und Pašman vor das Festland gebildet wird. Diese beiden Inseln sind durch eine kaum 2 *m* tiefe und nicht mehr als 100 *m* breite Öffnung, das Stretto di Zdrelac, voneinander getrennt, so daß sie sozusagen ein ununterbrochenes Ufer des Kanals bilden. Was aber noch als besonders wesentlich in Betracht kommt, ist der Umstand, daß der besagte Kanal etwa 4 *km* nordwestlich von Zaravecchia gleichfalls eine fast vollständige Abschnürung erfährt, indem seine Tiefe zwischen den Orten Pašman und Torrette auf nur 7 *m* herabsinkt. Bei den Längsschwingungen eines solchen Kanals ist nur eine Amplitudenverteilung möglich, die an der Stelle der Verengung des Querschnittes wegen der mit ihr verbundenen Vergrößerung der Horizontalverschiebungen ξ auch sehr große Änderungen $\Delta\eta$ aufweist, so daß wir wohl nicht fehlen werden, wenn wir speziell an dieser Stelle auch die Knotenlinie der Längsschwingungen vermuten. Zaravecchia mit der Hafenzeit $5 \cdot 4^h$, also positiven Amplituden der Längsschwingung, liegt jedenfalls bereits südlich dieser Knotenlinie, Zara dagegen noch nördlich derselben, so daß es bei dem raschen Übergang an der seichten Stelle schon

---

[1] Die auffallende Zacke beim Querschnitt 9 stammt wohl von der plötzlichen Erweiterung des Querschnittes durch das Hinzutreten des Quarnero (Verkleinerung des ξ) und dürfte daher den Tatsachen vielleicht nicht vollkommen entsprechen, obwohl die Beobachtung in Zengg mit der Zeichnung sehr gut zu stimmen scheint.

nahezu jene Amplituden der Längsschwingungen aufweisen wird, die dem nördlichen Ende des betrachteten Kanals zugehören. Ich würde daher die Ursache der relativ großen Verspätung des Hochwassers in Zara (Hafenzeit $7 \cdot 9^h$), beziehungsweise die starke Vergrößerung der Kappazahlen (die auf Grund der Relation $\tan(\varkappa - \varkappa_0) = \frac{\bar{\eta}}{\eta}$ durch die Amplituden η und $\bar{\eta}$ eindeutig mitbestimmt ist) nicht in Reibungseinflüssen erblicken, die in einem so seichten Kanal allerdings auch bis zu einem gewissen Grade wirksam sein könnten; vielmehr scheint mir die Übereinstimmung der Hafenzeit von Zara mit jener von Premuda (vgl. Fig. 1) darauf zu deuten, daß auch die Öffnungen zwischen den sich nordwestlich an Ugliano anschließenden Inseln Rivanj, Sestrunj, Melada, Isto und Skarda zu enge sind, um im Vergleich zu der sehr breiten Übergangsstelle des Kanals in den Quarnerolo einen nennenswerten Einfluß des offenen Meeres zu gestatten, so daß wir uns den Kanal von Zara mehr oder weniger ohne Unterbrechung bis zur Insel Premuda fortgesetzt zu denken hätten. (Man vergleiche eine genauere Karte, nicht bloß die allzu schematischen Figuren 1 und 2.) Es hätte vorläufig keinen Zweck, über die Schwingungen dieses Kanals theoretische Berechnungen anzustellen, da wir zwischen Zara und Premuda kein einziges Beobachtungsdatum besitzen.

Ganz dasselbe wäre natürlich von der Teilnahme des Kanals an den Querschwingungen der Adria zu sagen, die sich ja innerhalb desselben doch wieder nur in Längsschwingungen mit einer gegenüber der eben besprochenen um $\frac{\pi}{2}$ verschobenen Phase äußern können. Doch ist hier zu bemerken, daß die Amplituden $\bar{\eta}_{100}$ auch im Hauptkanal der Adria zwischen den Querschnitten 11 und 14 keine bedeutendere Änderung aufweisen, so daß die ungefähre Übereinstimmung der Werte $\bar{\eta}_{100}$ in Zara und beim Übergang in den Quarnerolo, die wir aus den eben dargelegten Gründen auch hier wieder anzunehmen haben, keine nennenswerte Störung des Amplitudenverlaufes der Querschwingung bedeutet, sich vielmehr Zara in die Reihe der übrigen Stationen und der theoretischen Werte in ganz normaler Weise einfügt.

Der sogenannte Canale di Mezzo, in dessen Mitte die Insel Eso liegt, zeigt bereits ein wesentlich anderes Verhalten als jener von Zara, da er in viel innigerer Verbindung mit dem offenen Meere steht Die Hafenzeiten von Sestrice ($5 \cdot 1^h$), Eso ($6 \cdot 2^h$) und Hafen Pantera ($7 \cdot 0^h$) zeigen hier eine vollkommen gleichmäßige Zunahme, was eben auch damit zusammenhängt, daß dieser Kanal im Gegensatz zu dem von Zara an keiner Stelle eine auffallende Verengung seines Querschnittes aufweist.

Überblicken wir die bisherige Untersuchung, so können wir sagen, daß die Theorie eines bloß mitschwingenden Kanals die beobachteten Längs- und Querschwingungen der Adria, somit alle heute bekannten Amplituden und Kappazahlen der einzelnen Partialtiden mit durchaus hinreichender Exaktheit erklärt, so daß man sich eigentlich mit ihr vollkommen begnügen könnte. Namentlich können wir es nach den erhaltenen Ergebnissen als strenge erwiesen betrachten, daß die zum Mitschwingen mit dem Jonischen Meere hinzukommenden Querschwingungen und somit auch die im nördlichen Teil der Adria entstehenden Amphidromien in dem Einflusse der Erdrotation auf die sich in der Längsrichtung periodisch verschiebenden Wasserteilchen ihre vollkommen einwandfreie theoretische Erklärung finden.

III. Die Einwirkung von Sonne und Mond auf die Adria.

1. Die genauen Differentialgleichungen der Längsschwingungen.

Obwohl die Abweichungen zwischen den theoretischen und den beobachteten Amplituden der Längs- und Querschwingungen unter der Annahme eines bloß mitschwingenden Kanals, wie wir eben gesehen haben, sehr gering ausgefallen sind, wollen wir uns in diesem Abschnitte doch noch der Frage zuwenden, ob man nicht zu einer noch besseren Übereinstimmung zwischen der Theorie und der Beobachtung gelangen kann, wenn man auch den Einfluß, den Sonne und Mond auf die Wassermassen der Adria selbst ausüben, in Rechnung zieht.

Hiezu müssen wir uns vor allem über die fluterzeugenden Kräfte orientieren, die den einzelnen Partialtiden zugehören. Betrachten wir zunächst einen Punkt am Äquator, so entspricht hier jeder einzelnen Partialtide eine bestimmte Beschleunigung, die eine periodische Funktion der Zeit ist und ihr Maximum in der Richtung nach Osten, beziehungsweise Westen um ein Viertel der Periode vor, beziehungsweise nach jenem Zeitpunkt erreicht, in dem das Idealgestirn im Beobachtungsorte kulminiert. Dieses Maximum der Beschleunigung hat für die Hauptmondtide M_2 den Wert

$$f = \frac{3}{2}\gamma\frac{Ma}{D^3},$$

wo γ die Gravitationskonstante, M die Masse des Mondes, a den Erdradius und D die Entfernung des Mondes von der Erde bedeutet.[1] Setzt man dies in Relation mit der Beschleunigung der Erdschwere $g = \frac{\gamma E}{a^2}$, wo E die Erdmasse bedeutet, so ergibt sich das Verhältnis

$$\frac{f}{g} = \frac{3}{2}\frac{M}{E}\left(\frac{a}{D}\right)^3$$

Die Einsetzung der besonderen Werte $\frac{M}{E} = \frac{1}{81\cdot45}$, $\frac{a}{D} = \frac{1}{60\cdot34}$ liefert

$$\frac{f}{g} = 0\cdot000000083827.$$

Analog findet man für die der Hauptsonnenflut am Äquartor zugehörige Beschleunigung f' die Beziehung

$$\frac{f'}{g} = \frac{3}{2}\frac{S}{E}\left(\frac{a}{D'}\right)^3$$

wo S die Masse der Sonne und D' ihre Entfernung von der Erde bedeutet. Die numerischen Werte $\frac{S}{E} = 333400$, $\frac{a}{D'} = \frac{1}{23484}$ eingesetzt, ergeben

$$\frac{f'}{g} = 0\cdot000000038614.$$

Daraus berechnet sich zunächst das theoretische Verhältnis der Sonnen- zur Mondflut mit dem Betrage

$$\frac{f'}{f} = 0\cdot461.$$

Die in der geographischen Breite φ wirksame Beschleunigung wird, wie leicht einzusehen, aus der am Äquator gültigen durch Multiplikation mit $\cos\varphi$ erhalten. Das Verhältnis $\frac{f\cos\varphi}{g}$ liefert uns somit in der Breite φ die Tangente des Neigungswinkels der Resultierenden aus der betreffenden fluterzeugenden Kraft und der Erdschwere gegen die Vertikale oder, was dasselbe ist, den Neigungswinkel der Niveaufläche gegen die Horizontale im Zeitpunkt ihrer stärksten Neigung, das heißt um ein Viertel der Periode vor, beziehungsweise nach der Kulmination des Idealgestirnes im Beobachtungsorte. Die Adria liegt nun unter einer mittleren geographischen Breite $\varphi = 43°$ und die beiden Enden ihrer Mittellinie weisen einen Längenunterschied $\Delta\lambda = 6°$ auf; die lineare Erstreckung der Adria in der Ost-West-Richtung beträgt daher $a\cos 43°\,.\,\mathrm{arc}\,6°$, wo a den Endradius bedeutet. Multiplizieren wir diese Länge mit der Tangente des Neigungswinkels der Niveaufläche, so erhalten wir speziell bei der Hauptmondtide M_2 als Maximum der Neigung der Niveaufläche längs der ganzen Mittellinie der Adria den Betrag

$$\frac{f}{g}\,a\cos^2 43°\,.\,\mathrm{arc}\,6° = 0\cdot000000083827\,.\,6370\cdot3\,km\,.\cos^2 43°\,.\,\mathrm{arc}\,6° = 2\cdot99\,cm.$$

[1] Vgl. H. Lamb, »Hydrodynamik«, p. 312; O. Krümmel, »Ozeanographie«, 2. Aufl., Bd. 2, p. 216 u. 217.

Nun kennt man die theoretischen Gewichte der sämtlichen einzelnen Partialtiden im Vergleich zur Hauptmondtide M_2.[1] Durch Multiplikation mit diesen Gewichten finden wir also auch für die übrigen Partialtiden die gesuchten Neigungen der Niveauflächen längs der Mittellinie der Adria; es ergeben sich bei

	M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O
Gewichte	1·000	0·461	0·194	0·126	0·584	0·193	0·415
Neigungen	2·99	1·38	0·58	0·38	1·75	0·58	1·24 *cm.*

Hiermit sind wir bereits in der Lage, die Differentialgleichungen aufzustellen, von denen die Längsschwingungen der Adria bei Mitberücksichtigung der fluterzeugenden Kräfte abhängen. Während die Kontinuitätsgleichung (2) offenbar genau dieselbe bleibt wie bei bloßem Mitschwingen, lautet nunmehr die Bewegungsgleichung (1)

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + X,$$

wo X die Beschleunigung der in der Richtung des Kanals wirkenden periodischen Horizontalkraft bedeutet.

Von den einzelnen fluterzeugenden Kräften kommt also für die Längsschwingungen der Adria jeweils nur die in die Richtung der Mittellinie fallende Komponente in Betracht. Diese Mittellinie ist durchschnittlich unter einem Winkel $\mu = 52 \cdot 5°$ gegen die Parallelkreise geneigt. Die Größe X genügt somit der Beziehung

$$X = f . \cos \varphi . \cos \mu . \cos \left(\frac{2\pi}{T} t + \varepsilon \right),$$

wo T die Periode der Kraftwirkung bedeutet. Nach Ausführung der Differentiationen in der vorstehenden Bewegungsgleichung und Weglassung des Zeitfaktors[2] folgt somit für die Maximalelongationen (Amplituden), die wir wieder mit ξ und η bezeichnen

$$-\frac{4\pi^2}{T^2} \xi = -g \frac{d\eta}{dx} + f \cos \varphi . \cos \mu$$

oder

$$\frac{d\eta}{dx} = \frac{4\pi^2}{gT^2} \xi + \frac{f}{g} \cos \varphi . \cos \mu .$$

Zur rechten Seite der Differentialgleichung, die das Mitschwingen charakterisiert, tritt also jetzt noch ein Zusatzglied hinzu, das, wie wir soeben zeigten, nichts anderes bedeutet als die Tangente des maximalen Neigungswinkels der Niveaufläche unter dem Einfluß der betreffenden fluterzeugenden Kraft. Erfolgen die Neigungsänderungen der Niveaufläche im gleichen Sinn wie diejenigen der Oberflächenbewegung bei bloßem Mitschwingen, so wird das Zusatzglied unter sonst gleichen Umständen vergrößernd auf den absoluten Wert von $\frac{d\eta}{dx}$ einwirken, also mit ξ das gleiche Vorzeichen haben; variiert dagegen die Neigung der Niveaufläche im Vergleich zur Oberflächenbewegung beim Mitschwingen im entgegengesetzten Sinne, so wird das Zusatzglied auf die absoluten Werte von $\frac{d\eta}{dx}$ verkleinernd einwirken, also das entgegengesetzte Vorzeichen von ξ besitzen müssen.

Was das Vorzeichen von ξ betrifft, so haben wir es bei der Untersuchung des bloßen Mitschwingens so gewählt, daß sich bei den Halbtagsgezeiten vom Nordwestende der Adria bis zum südlichen Schwingungsbauche positive Werte ξ ergaben (vgl. die Tabelle 4). Da nun die Neigungsänderungen der Niveaufläche bei jeder einzelnen Partialtide in der Art vor sich gehen, daß, wenn die Wasseroberfläche

[1] Vgl. O. Krümmel, »Ozeanographie«, 2. Aufl., Bd. 2, p. 265.

[2] Vgl. die Anmerkung auf der nächsten Seite.

ihnen allein folgte, am Westende 90° und am Ostende 270° als Kappazahl beobachtet würde, andrerseits beim Mitschwingen gerade am Westende eine von 270° nicht wesentlich verschiedene Kappazahl auftritt,[1] so sieht man, daß bei den Halbtagsgezeiten die Neigung der Niveaufläche und die Oberflächenbewegung beim Mitschwingen vom Nordwestende bis Ragusa im entgegengesetzten Sinne variiert; das Zusatzglied muß also negativ sein, da es das entgegengesetzte Vorzeichen zu den in diesem Gebiete positiven Werten ξ besitzen muß. Dies stimmt dann selbstverständlich auch für das Gebiet südöstlich von Ragusa. Hier erfolgen die Neigungsänderungen der Niveaufläche und die Oberflächenbewegungen infolge des Mitschwingens im gleichen Sinne, während die Größen ξ in diesem Gebiete negativ, also mit dem Zusatzgliede gleichbezeichnet sind.

Bei den ganztägigen Komponenten, zum Beispiel K_1, finden wir dagegen bei bloßem Mitschwingen am Nordwestende ungefähr eine Kappazahl von 90° vor, wie sie sich auch auf Grund der Neigungen der Niveaufläche ergeben würde. Beide Bewegungen der Oberfläche variieren also hier im gleichen Sinne; das Zusatzglied muß daher mit den Größen ξ das gleiche Vorzeichen besitzen, also wieder negativ sein, da die Werte ξ, soweit es sich um das Mitschwingen handelt, bei den Eintagskomponenten in der ganzen Adria negativ ausfielen (Tabelle 4).

Die Bewegungsgleichung, der wir für die Zwecke der Rechnung wieder die Form einer Differenzengleichung geben, lautet somit

$$\Delta\eta = \frac{4\pi^2}{gT^2}\Delta x.\xi - \frac{f}{g}\cos\varphi\cos\mu.\Delta x,$$

wo $\frac{f}{g}$ jetzt mit dem absoluten Werte einzusetzen ist. Wir setzen ferner $\Delta x = 20 \cdot 5\ km$, um die Änderung $\Delta\eta$ von Querschnitt zu Querschnitt zu erhalten.

Der Koeffizient von ξ ist im Abschnitt II, 1 für die einzelnen Partialtiden bereits berechnet worden. Das Zusatzglied ergibt sich für M_2 auf Grund der Zahlwerte $\frac{f}{g} = 0 \cdot 000000083827$, $\varphi = 43°$, $\mu = 52 \cdot 5°$ (oder auch als der 39. Teil der bereits berechneten Gesamtneigung der Niveaufläche längs der Mittellinie) mit dem Betrage $-0 \cdot 0767\ cm$ und daraus nach Multiplikation mit den betreffenden Gewichten auch sein Wert für die übrigen Partialtiden. Heben wir schließlich noch den Koeffizienten aus beiden Gliedern heraus, so lauten die genauen Gleichungen, von denen die Längsschwingungen der Adria abhängen, bei

$$
\begin{array}{ll}
M_2 & \Delta\eta = 0 \cdot 00004129\,\xi - 0 \cdot 0767\,cm = 0 \cdot 00004129\,(\xi - 18 \cdot 6\,m) \\
S_2 & \Delta\eta = 0 \cdot 00004423\,\xi - 0 \cdot 0354\,cm = 0 \cdot 00004423\,(\xi - 8 \cdot 0\,m) \\
N & \Delta\eta = 0 \cdot 00003975\,\xi - 0 \cdot 0149\,cm = 0 \cdot 00003975\,(\xi - 3 \cdot 7\,m) \\
K_2 & \Delta\eta = 0 \cdot 00004448\,\xi - 0 \cdot 0097\,cm = 0 \cdot 00004448\,(\xi - 2 \cdot 2\,m) \\
K_1 & \Delta\eta = 0 \cdot 00001112\,\xi - 0 \cdot 0448\,cm = 0 \cdot 00001112\,(\xi - 40 \cdot 3\,m) \\
P & \Delta\eta = 0 \cdot 00001100\,\xi - 0 \cdot 0148\,cm = 0 \cdot 00001100\,(\xi - 13 \cdot 5\,m) \\
O & \Delta\eta = 0 \cdot 00000955\,\xi - 0 \cdot 0318\,cm = 0 \cdot 00000955\,(\xi - 33 \cdot 3\,m)
\end{array}
$$

Die Abweichung von der Berechnung des bloßen Mitschwingens besteht also bloß darin, daß von den Größen ξ vor ihrer Multiplikation mit dem Koeffizienten jeweils ein bestimmter konstanter Betrag abgezogen wird, im übrigen unterscheidet sich aber die Rechnung selbst nicht im mindesten von der im Abschnitt II, 1 durchgeführten, da die Kontinuitätsgleichung unverändert ist.

Was aber sehr wesentlich ins Gewicht fällt, ist der Umstand, daß die Differentialgleichungen in den Größen ξ und η jetzt nicht mehr homogen sind, ein proportionales Wertesystem ξ', η' sie also nicht mehr befriedigt. Zur Durchführung der Rechnung ist somit jetzt die genaue Kenntnis des Ausgangswertes für das innere Ende des Kanals erforderlich. Da aber hiezu die einzelne Station Triest,

[1] Die tatsächlich vorhandenen Abweichungen bis zu 20° zeigen, daß die beiden Bewegungen nicht genau synchron sind, doch ist der Phasenunterschied so klein, daß er ohne merkbaren Einfluß auf das Resultat vernachlässigt werden kann.

wohl auch ihrer besonderen Lage wegen, nicht ausreichend ist, könnte die endgültige Berechnung erst nach einer Reihe von Versuchsrechnungen vorgenommen werden, bei denen der Ausgangswert solange variiert werden müßte, bis die Koinzidenz mit den beobachteten Amplituden im südlichen Teil der Adria, die wir wieder als Anfangsbedingung zu den Differentialgleichungen hinzunehmen, erreicht wäre.

Diesen mühsamen Versuchsrechnungen kann man aber auch hier wieder entgehen, wenn man von der Bemerkung Gebrauch macht, daß ein Wertsystem ξ, η, das eine der vorstehenden Differenzengleichungen befriedigt, auch dann noch ein Lösungssystem bleibt, wenn man ein Wertsystem $k\xi_1$, $k\eta_1$ additiv hinzufügt, das die entsprechende, aus dem bloßen Mitschwingen abgeleitete Differenzengleichung des Abschnittes II, 1 befriedigt. Sind nämlich die beiden Beziehungen $\Delta\eta = c(\xi - m)$ und $\Delta\eta_1 = c\xi_1$ erfüllt, so gilt auch $\Delta(\eta + k\eta_1) = c(\xi + k\xi_1 - m)$. Außerdem wird durch das Wertsystem $\xi + k\xi_1$, $\eta + k\eta_1$ offenbar auch die Kontinuitätsgleichung befriedigt, sobald dies für die Wertsysteme ξ, η und ξ_1, η_1 der Fall ist. Da wir nun ein System von Werten ξ_1, η_1 in der Tabelle 4 bereits besitzen, brauchen wir daher bloß ein spezielles, aus einem willkürlichen Ausgangswert berechnetes System von Werten ξ, η herzustellen und können dann den Faktor k so wählen, daß das System $\xi + k\xi_1$, $\eta + k\eta_1$, das, wie wir eben sahen, der vorstehenden Differenzengleichung wieder genügt, auch eine vorgeschriebene Anfangsbedingung erfüllt, daß also namentlich wieder in der Gegend der Stationen Comisa, Pelagosa, Ragusa und Meljine Koinzidenz mit den beobachteten Amplituden der Längsschwingung stattfindet.

2. Reduktion der beobachteten Amplituden auf die Mittellinie.

Bei der Erfüllung dieser Anfangsbedingung ist jetzt aber noch ein weiterer Umstand zu berücksichtigen. Es kommt nämlich zu der eben besprochenen Einwirkung jener Komponenten der fluterzeugenden Kräfte, die in die Richtung der Mittellinie fallen, auch noch jene der zu dieser Mittellinie senkrechten Komponenten hinzu. Durch diese wird offenbar bei jeder einzelnen Partialtide eine Querschwingung erzeugt, die aber mit der durch die Erdrotation hervorgerufenen Querschwingung, die in ihrer Phase um ein Viertel der Periode von der Längsschwingung abweicht, nicht das Geringste zu tun hat, vielmehr mit der Längsschwingung synchron ist. Die Neigung der Niveaufläche, die dieser Querschwingung zugrunde liegt, ist durch $\frac{f\cos\varphi}{g}\sin\mu$ gegeben, ihre Amplitude beträgt daher in der Entfernung d von der Mittellinie

$$d\cdot\frac{f\cos\varphi\sin\mu}{g}\cdot\frac{\tan}{\operatorname{arc}}\frac{\pi}{2}\frac{\tau_q}{T},$$

wobei wir auch hier wieder die Trägheit des Wassers berücksichtigen.

Wir beobachten somit in den einzelnen Stationen nicht genau jene Amplituden der Längsschwingungen, die der Mittellinie des Meeres zugehören, sondern ein wenig gestörte Werte infolge des Hinzutretens einer synchronen Querschwingung. Letzterer würde, wenn sie allein aufträte, am Ostende jedes Querschnittes die Kappazahl 270°, am Westende 90° zugehören, wie es ja der Neigung der Niveaufläche überhaupt entspricht; ihr Hinzutreten wird also bei unserer Festsetzung über das Vorzeichen die Amplitude am Ostende jedes Querschnittes im algebraischen Sinne verkleinern, am Westende vergrößern. Indem wir für die einzelnen Stationen und Partialtiden den Wert des vorstehenden Ausdruckes berechnen und mit seinem Zeichen an die beobachteten Amplituden der Längsschwingungen additiv anbringen, erhalten wir die auf die Mittellinie der Adria (am Querschnitt der betreffenden Station) reduzierten Amplitudenwerte, die in der folgenden Tabelle 6 zusammengestellt sind. Die Werte $\frac{\tan}{\operatorname{arc}}$ sind wieder der Tabelle 2 entnommen und für den Querschnitt 1 (Triest) diejenigen des Querschnittes 2 benützt.

Tabelle 6.

Quer-schnitt	Station	*d* *km*	M_2 *cm*	S_2 *cm*	*N* *cm*	K_2 *cm*	K_1 *cm*	*P* *cm*	*O* *cm*
1·0	Triest	70	—25·55	—15·40	— 4·19	— 5·02	17·40	4·81	5·03
1·7	Venedig	— 45	—22·46	—12·56	—	— 3·83	17·00	—	—
6·0*	Fiume	126	— 9·08	— 3·78	— 1·09	— 1·06	14·12	4·31	4·11
7·0	Pola	56	—14·52	— 7·98	— 2·16	— 2·25	15·68	4·95	5·05
8·6	Zengg	127	— 7·93	— 2·61	—	— 0·82	13·74	—	—
10·4	Hafen Cigale . . .	65	— 6·95	— 2·90	—	— 1·60	15·51	—	—
13·0	Hafen Pantere . .	60	0·34	0·10	—	0·13	11·82	3·09	3·88
14·2	Zara	80	— 3·40	— 1·49	—	— 0·37	13·29	—	—
15·3	Sestrice	58	3·57	3·40	—	—	—	—	—
17·8	Sebenico	89	5·86	4·42	—	1·40	9·02	—	—
18·8	Rogoznica	77	5·80	4·47	—	—	9·09	—	—
21·2	Comisa	41	7·60	5·24	1·34	1·47	7·53	2·20	2·28
23·8	Pelagosa	— 9	8·53	5·58	1·59	1·65	6·08	2·02	2·10
28·8	Ragusa	94	9·74	5·97	1·47	1·69	5·11	1·70	2·13
30·7	Meljine	103	9·63	6·11	—	2·20	4·96	—	—
36·3	Brindisi	— 66	7·85	5·04	—	1·76	4·24	—	—

3. Die theoretischen Längsschwingungen.

Nunmehr kann an die genaue Berechnung der Längsschwingungen, wie sie sich bei Mitberücksichtigung der Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte ergeben, geschritten werden. Wir gehen dabei von einem willkürlich gewählten Amplitudenwert am inneren Ende der Adria aus, den ich, um mit recht kleinen Zahlwerten rechnen zu können, in den einzelnen Fällen etwa so groß angenommen habe, als sich der Einfluß der fluterzeugenden Kräfte auf die Amplituden am Nordende der Adria mit Bezug auf die Neigungen der Niveauflächen schätzungsweise ansetzen ließ. Mit diesen Ausgangswerten wurde nun die Rechnung wieder für jede einzelne Partialtide von Querschnitt zu Querschnitt durchgeführt und auf diese Weise ein Wertsystem ξ, η hergestellt, das der betreffenden Differentialgleichung des Abschnittes III, 1 sowie der Kontinuitätsgleichung Genüge leistet. Die Rechnung selbst unterschied sich dabei, wie vorhin erwähnt, von der des Abschnittes II, 1 bloß darin, daß von den Werten ξ vor ihrer Multiplikation mit dem in der Formel stehenden Koeffizienten jedesmal ein ganz bestimmter Betrag in Abzug zu bringen war. Was speziell den Quarnero betrifft, so bemerke ich, daß ich das bei seinen Schwingungen durch den Querschnitt 8* ein- und ausströmende Wasserquantum einfach dem im Abschnitt II, 1 gefundenen auf Grund der Amplituden am Querschnitt 8 proportional angenommen, also die Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte auf das kleine Gebiet des Quarnero vernachlässigt habe.

Nach Herstellung dieser speziellen Wertreihe ξ, η wurde nun die Anfangsbedingung herangezogen, indem für die Querschnitte 21·2, 23·8, 28·8 und 30·7, an denen die Stationen Comisa, Pelagosa, Ragusa und Meljine liegen, die Koinzidenz mit den beobachteten Amplituden in der Art hergestellt wurde, daß für diese vier Stationen die Summe der berechneten und der auf die Mittellinie reduzierten beobachteten Amplituden gleichgemacht wurde. Hiezu genügte es nach der Bemerkung auf vorstehender Seite, das mit einem geeignet gewählten Faktor k multiplizierte Wertsystem ξ_1, η_1, das sich in der Tabelle 4 findet, an die hier berechneten Werte ξ, η additiv anzufügen.

Die Rechnung selbst will ich wegen ihres großen Umfanges hier nicht in extenso mitteilen, sondern bloß die schließlich erhaltenen Horizontalverschiebungen ξ und Amplituden η in den folgenden

Tabellen 7 und 8 zusammenstellen. Man kann sich durch eine einfache Überlegung davon überzeugen, daß auch jede der Differenzengleichungen des Abschnittes III, 1 bei festgehaltener Anfangsbedingung, nur ein einziges Lösungssystem besitzen kann.

Tabelle 7.

Querschnitt	M_2 ξ m	S_2 ξ m	N ξ m	K_2 ξ m	K_1 ξ m	P ξ m	O ξ m
1	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0
2	326·3	194·8	58·8	59·2	— 241·6	— 73·6	— 77·6
3	441·3	262·9	79·6	79·8	— 331·7	— 101·2	— 106·5
4	550·6	327·3	99·4	99·4	— 422·4	— 128·8	— 135·5
5	530·2	314·0	95·9	95·3	— 418·7	— 127·7	— 134·3
6	561·9	331·3	102·0	105·5	— 459·8	— 140·2	— 147·6
7	537·8	315·5	97·9	95·7	— 457·5	— 139·6	— 147·0
8	599·5	349·9	109·3	106·0	— 531·3	— 162·0	— 170·6
9	429·0	248·0	78·7	75·1	— 408·3	— 124·5	— 131·2
10	550·7	316·3	101·2	95·7	— 550·0	— 167·7	— 176·8
11	539·5	307·8	99·4	93·0	— 565·3	— 172·4	— 181·9
12	570·9	323·5	106·0	97·7	— 628·6	— 191·7	— 202·4
13	585·2	329·0	108·6	99·2	— 679·7	— 207·4	— 219·1
14	523·9	291·9	97·6	88·0	— 646·3	— 197·2	— 208·5
15	440·0	222·6	82·3	73·1	— 580·0	— 176·9	— 188·2
16	315·4	171·8	59·3	51·6	— 449·1	— 137·1	— 145·3
17	198·7	106·7	37·7	32·0	— 308·8	— 94·2	— 100·0
18	133·1	70·2	25·4	21·0	— 227·1	— 69·3	— 73·6
19	159·6	82·5	30·7	24·6	— 299·4	— 91·4	— 97·2
20	163·5	82·4	31·8	24·5	— 339·2	— 103·6	— 110·2
21	167·5	81·9	33·0	24·3	— 390·1	— 119·1	— 126·9
22	172·8	81·5	34·4	24·0	— 453·0	— 138·3	— 147·4
23	166·8	75·5	33·8	22·1	— 492·6	— 150·4	— 160·4
24	173·0	74·6	35·6	21·7	— 577·2	— 176·2	— 188·0
25	160·3	64·6	33·9	18·6	— 617·8	— 188·7	— 201·5
26	87·9	31·8	19·2	8·9	— 409·4	— 125·0	— 133·6
27	45·1	13·5	10·2	3·6	— 265·4	— 81·0	— 86·7
28	14·7	2·9	3·6	0·7	— 114·7	— 35·0	— 37·7
29	7·6	0·0	2·1	— 0·1	— 89·1	— 27·1	— 29·1
30	3·5	— 1·5	1·3	— 0·6	— 76·3	— 23·3	— 25·0
31	0·7	— 3·0	0·7	— 1·1	— 72·5	— 22·1	— 23·8
32	— 2·2	— 5·3	0·3	— 1·9	— 83·7	— 25·6	— 27·5
33	— 5·1	— 7·0	— 0·2	— 2·4	— 83·3	— 25·5	— 27·4
34	— 10·1	— 11·2	— 1·0	— 3·8	— 108·3	— 33·1	— 35·5
35	— 22·0	— 21·5	— 2·5	— 7·1	— 176·0	— 53·8	— 57·7
36	— 32·6	— 29·8	— 4·1	— 9·7	— 215·4	— 65·8	— 70·7
37	— 51·8	— 45·1	— 6·8	—14·6	— 299·3	— 91·5	— 98·2
38	— 69·0	— 58·3	— 9·5	—18·8	— 361·1	— 110·4	— 118·3
39	— 89·7	— 74·2	—12·6	—23·9	— 437·6	— 133·7	— 143·6
40	— 68·9	— 56·1	— 9·9	—18·0	— 318·9	— 97·5	— 104·6

Tabelle 8.

Querschnitt	M_2 η cm	S_2 η cm	N η cm	K_2 η cm	K_1 η cm	P η cm	O η cm
1	— 25·80	— 15·41	— 4·65	— 4·68	19·11	5·83	6·13
2	— 24·53	— 14·58	— 4·44	— 4·43	18·80	5·73	6·03
3	— 22·79	— 13·46	— 4·14	— 4·08	18·39	5·60	5·89
4	— 20·59	— 12·04	— 3·75	— 3·65	17·87	5·45	5·73
5	— 18·48	— 10·69	— 3·38	— 3·23	17·36	5·29	5·58
6	— 16·24	— 9·26	— 2·99	— 2·80	16·80	5·13	5·40
7	— 14·10	— 7·91	— 2·62	— 2·38	16·25	4·96	5·23
8	— 11·69	— 6·38	— 2·19	— 1·92	15·61	4·76	5·03
9	— 10·00	— 5·32	— 1·90	— 1·60	15·11	4·61	4·89
10	— 7·81	— 3·96	— 1·50	— 1·19	14·46	4·41	4·68
11	— 5·65	— 2·64	— 1·13	— 0·73	13·78	4·20	4·48
12	— 3·37	— 1·24	— 0·73	— 0·36	13·05	3·98	4·25
13	— 1·03	0·18	— 0·31	0·07	12·24	3·74	4·00
14	1·05	1·43	0·07	0·45	11·48	3·51	3·78
15	2·79	2·48	0·37	0·77	10·78	3·30	3·56
16	4·02	3·20	0·59	0·99	10·24	3·13	3·39
17	4·76	3·63	0·74	1·13	9·85	3·01	3·27
18	5·24	3·90	0·82	1·21	9·56	2·93	3·17
19	5·81	4·23	0·93	1·30	9·18	2·81	3·04
20	6·41	4·57	1·05	1·41	8·76	2·68	2·90
21	7·03	4·90	1·15	1·51	8·28	2·54	2·75
22	7·67	5·21	1·28	1·61	7·73	2·37	2·59
23	8·28	5·52	1·40	1·69	7·13	2·19	2·39
24	8·92	5·81	1·52	1·78	6·45	1·98	2·17
25	9·50	6·06	1·64	1·86	5·72	1·76	1·95
26	9·79	6·17	1·71	1·89	5·22	1·60	1·80
27	9·90	6·19	1·73	1·89	4·88	1·50	1·69
28	9·88	6·17	1·73	1·89	4·71	1·44	1·62
29	9·84	6·13	1·73	1·88	4·56	1·39	1·55
30	9·77	6·09	1·72	1·86	4·43	1·35	1·50
31	9·70	6·04	1·71	1·85	4·31	1·33	1·45
32	9·61	5·98	1·69	1·83	4·17	1·28	1·39
33	9·51	5·92	1·68	1·81	4·04	1·23	1·32
34	9·40	5·83	1·66	1·78	3·86	1·19	1·26
35	9·23	5·70	1·63	1·74	3·63	1·11	1·17
36	9·02	5·53	1·61	1·68	3·34	1·02	1·08
37	8·72	5·30	1·56	1·61	2·96	0·90	0·95
38	8·36	5·00	1·50	1·52	2·52	0·78	0·81
39	7·92	4·64	1·45	1·41	1·99	0·60	0·63
40	7·55	4·36	1·39	1·31	1·59	0·49	0·51

Die vorstehenden Tabellen zeigen, daß die Stellen, an denen die Werte η durch Null hindurchgehen, das heißt die Knotenlinien der Längsschwingungen bei allen halbtägigen Tiden etwas weiter südöstlich liegen, als wir sie unter der Annahme bloßen Mitschwingens gefunden hatten. Aus der Tabelle 4 geht nämlich hervor, daß die Knotenlinien der Längsschwingungen bei M_2, S_2, N, K_2 bezüglich an die

Querschnitte 13·2, 12·7, 13·5, 12·6 zu liegen kamen, während wir sie nach der vorstehenden Amplitudenverteilung bei den Querschnitten 13·5, 12·9, 13·8, 12·8, also um 0·2 bis 0·3 eines Querschnittsintervalles weiter südöstlich anzunehmen hätten. Wenn diese Verschiebung in der Natur auch bloß etwa 5 *km* austrägt, so ist sie doch vom theoretischen Standpunkt immerhin erwähnenswert.

Die Schwingungsbäuche im südlichen Teil der Adria erfahren dagegen eine Verschiebung im umgekehrten Sinne. Während sie bei bloßem Mitschwingen an die Querschnitte 29·9, 28·1, 30·8, 28·0 zu liegen kommen, finden wir sie jetzt in allen vier Fällen zwischen den Querschnitten 27 und 28, wie sich aus dem Verschwinden von $\Delta\eta$ auf Grund der Differenzengleichungen und der Werte ξ (Tabelle 7) mit aller Schärfe entnehmen läßt. Praktischen Wert hat diese Feststellung ja allerdings keinen, da die Änderungen von η in der Gegend dieses Schwingungsbauches außerordentlich gering sind, aber für die Theorie ist es ganz interessant, daß sich die Schwingungsbäuche bei Berücksichtigung der Einwirkung von Sonne und Mond speziell bei M_2 und N um etwa zwei Querschnittsintervalle gegen Nordwesten, also im Vergleich zu den Knotenlinien in der umgekehrten Richtung verschieben.

4. Die theoretischen Querschwingungen.

Die neuberechneten Werte ξ wurden schließlich dazu benützt, um auch die Amplituden $\bar{\eta}_{100}$ der durch die Erdrotation hervorgerufenen Querschwingungen exakter zu berechnen. Zu diesem Zwecke wurden in der Tabelle 5 die Werte ξ durch die hier erhaltenen genaueren (aus Tabelle 7) ersetzt. Das Produkt des Koeffizienten, des Wertes ξ und des Korrektionsfaktors $\frac{\tan}{\text{arc}}$ liefert uns dann unmittelbar die neuen Werte $\bar{\eta}_{100}$, die in der folgenden Tabelle 9 zusammengestellt sind.

Tabelle 9.

Querschnitt	M_2 $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	S_2 $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	N $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	K_2 $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	K_1 $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	P $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	O $\bar{\eta}_{100}$ *cm*
1	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00
2	5·30	3·27	0·94	1·00	— 1·90	— 0·58	— 0·57
3	7·02	4·33	1·24	1·32	— 2·61	— 0·79	— 0·78
4	8·73	5·37	1·55	1·64	— 3·31	— 1·00	— 0·99
5	8·47	5·19	1·50	1·58	— 3·28	— 0·99	— 0·97
6	9·04	5·51	1·61	1·68	— 3·59	— 1·09	— 1·07
7	8·62	5·24	1·54	1·59	— 3·56	— 1·08	— 1·06
8	9·77	5·90	1·75	1·79	— 4·13	— 1·25	— 1·23
9	7·04	4·21	1·27	1·28	— 3·20	— 0·97	— 0·95
10	9·00	5·35	1·62	1·62	— 4·30	— 1·30	— 1·28
11	8·65	5·11	1·56	1·55	— 4·36	— 1·32	— 1·30
12	9·04	5·30	1·65	1·61	— 4·83	— 1·47	— 1·44
13	9·16	5·33	1·67	1·61	— 5·22	— 1·58	— 1·56
14	8·18	4·72	1·50	1·43	— 4·95	— 1·50	— 1·48
15	6·79	3·56	1·25	1·17	— 4·43	— 1·34	— 1·33
16	4·81	2·71	0·89	0·82	— 3·42	— 1·04	— 1·03
17	2·99	1·66	0·56	0·50	— 2·32	— 0·70	— 0·70
18	1·98	1·08	0·37	0·32	— 1·70	— 0·52	— 0·51
19	2·37	1·27	0·45	0·38	— 2·24	— 0·68	— 0·67
20	2·47	1·29	0·47	0·38	— 2·56	— 0·78	— 0·77
21	2·55	1·29	0·49	0·38	— 2·94	— 0·89	— 0·89

Querschnitt	M_2 $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	S_2 $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	N $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	K_2 $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	K_1 $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	P $\bar{\eta}_{100}$ *cm*	O $\bar{\eta}_{100}$ *cm*
22	2·62	1·27	0·51	0·38	— 3·40	— 1·03	— 1·03
23	2·48	1·16	0·49	0·34	— 3·65	— 1·11	— 1·10
24	2·59	1·15	0·52	0·34	— 4·31	— 1·31	— 1·30
25	2·41	1·01	0·50	0·29	— 4·60	— 1·40	— 1·39
26	1·31	0·49	0·28	0·14	— 3·04	— 0·92	— 0·92
27	0·66	0·20	0·15	0·05	— 1·95	— 0·59	— 0·59
28	0·21	0·04	0·05	0·01	— 0·83	— 0·25	— 0·25
29	0·11	0·00	0·03	0·00	— 0·64	— 0·19	— 0·19
30	0·05	— 0·02	0·02	— 0·01	— 0·55	— 0·17	— 0·17
31	0·01	— 0·04	0·01	— 0·02	— 0·52	— 0·16	— 0·16
32	— 0·03	— 0·08	0·00	— 0·03	— 0·60	— 0·18	— 0·18
33	— 0·07	— 0·10	0·00	— 0·03	— 0·60	— 0·18	— 0·18
34	— 0·14	— 0·16	— 0·01	— 0·06	— 0·77	— 0·23	— 0·23
35	— 0·31	— 0·31	— 0·03	— 0·10	— 1·25	— 0·38	— 0·38
36	— 0·45	— 0·43	— 0·06	— 0·14	— 1·53	— 0·46	— 0·47
37	— 0·71	— 0·64	— 0·09	— 0·21	— 2·12	— 0·64	— 0·64
38	— 0·95	— 0·83	— 0·13	— 0·27	— 2·55	— 0·78	— 0·77
39	— 1·22	— 1·04	— 0·17	— 0·34	— 3·08	— 0·94	— 0·94
40	— 0·93	— 0·79	— 0·13	— 0·25	— 2·24	— 0·68	— 0·68

5. Die theoretischen Amphidromien.

Auch die Amphidromien, von denen wir wieder nur die zu M_2 gehörige näher ins Auge fassen, fallen bei Berücksichtigung der Einwirkung von Sonne und Mond etwas anders aus als bei bloßem Mitschwingen, vor allem deshalb, weil sich mit der Knotenlinie der Längsschwingung auch das Zentrum der Amphidromie um 0·3 eines Intervalles gegen Südosten verschiebt. Außerdem erleidet aber auch die Symmetrie in Bezug auf die Mittellinie eine kleine Störung, da die Amplituden der Längsschwingungen oder besser gesagt, der Schwingungen mit der Epoche $\varkappa_0$ durch das Hinzutreten der oben erwähnten synchronen Querschwingung östlich der Mittellinie etwas verkleinert, westlich derselben vergrößert werden. Hat die Längsschwingung an der Mittellinie die Amplitude η, so hat sie in der Entfernung d (vgl. oben unter III, 2) die Amplitude

$$\eta - d \cdot \frac{f \cos\varphi \sin\mu}{g} \cdot \frac{\tan}{\text{arc}} \frac{\pi}{2} \frac{\tau_q}{T}$$

Die in ihrer Phase um $\frac{\pi}{2}$ verschiedene, durch die Erdrotation hervorgerufene Querschwingung hat dagegen in der Entfernung d die Amplitude $\frac{\bar{\eta}_{100}}{100} \cdot d$. Die Isorhachien für $\varkappa_0 \pm 30°$ und $\varkappa_0 \pm 60°$ sind wieder dadurch charakterisiert, daß an ihnen das Verhältnis der Amplitude der Querschwingung zu der der Längsschwingung den Wert $\pm \tan 30°$ oder $\pm \tan 60°$ besitzt. Die Entfernungen d ihrer Schnittpunkte mit den einzelnen Querschnitten werden also aus der Beziehung

$$\frac{\frac{\bar{\eta}_{100}}{100} \cdot d}{\eta - d \cdot \frac{f \cos\varphi \sin\mu}{g} \cdot \frac{\tan}{\text{arc}} \frac{\pi}{2} \frac{\tau_q}{T}} = \pm \tan 30° \; (60°)$$

gefunden, aus welchen sich, wenn es sich speziell um M_2 handelt, durch Einsetzung der Zahlenwerte $\frac{f}{g} = 0 \cdot 000000083827$, $\cos\varphi = 0 \cdot 731354$, $\sin\mu = 0 \cdot 793353$ und Berücksichtigung des Umstandes, daß η und $\bar{\eta}_{100}$ in Zentimetern, d aber in Kilometern ausgedrückt werden, die weitere ergibt

$$d_{1,2} = \frac{\pm\eta \tan 30° \, (60°)}{\frac{\bar{\eta}_{100}}{100} \pm 0 \cdot 0048638 \cdot \frac{\tan}{\text{arc}} \frac{\pi}{2} \frac{\tau_q}{T} \cdot \tan 30° \, (60°)}$$

Durch Einsetzung der Werte η und $\bar{\eta}_{100}$ aus Tabelle 8 und 9 sowie der Werte $\frac{\tan}{\text{arc}} \frac{\pi}{\pi} \frac{\tau_q}{T}$ aus Tabelle 2 ergibt sich nach einfacher Rechnung

Querschnitt	d_1		d_2	
8	$d_1 = -67 \cdot 0$,	$71 \cdot 3$ *km*	$d_2 = -196 \cdot 4$,	$219 \cdot 3$ *km*
9	$-78 \cdot 6$,	$85 \cdot 8$ *km*	$-228 \cdot 5$,	$266 \cdot 4$ *km*
10	$-48 \cdot 4$,	$51 \cdot 9$ *km*	$-141 \cdot 8$,	$159 \cdot 9$ *km*
11	$-36 \cdot 4$,	$39 \cdot 1$ *km*	$-106 \cdot 6$,	$120 \cdot 6$ *km*
12	$-20 \cdot 8$,	$22 \cdot 3$ *km*	$-61 \cdot 0$,	$68 \cdot 6$ *km*
13	$-6 \cdot 3$,	$6 \cdot 8$ *km*	$-18 \cdot 6$,	$20 \cdot 8$ *km*
14	$7 \cdot 1$,	$-7 \cdot 7$ *km*	$20 \cdot 9$,	$-23 \cdot 7$ *km*
15	$22 \cdot 7$,	$-24 \cdot 8$ *km*	$66 \cdot 1$,	$-77 \cdot 1$ *km*
16	$45 \cdot 4$,	$-51 \cdot 5$ *km*	$130 \cdot 9$,	$-162 \cdot 0$ *km*
17	$83 \cdot 8$,	$-101 \cdot 8$ *km*	$235 \cdot 6$,	$-332 \cdot 4$ *km*

Die kleinen Verschiedenheiten in den absoluten Beträgen der beiden Werte von d_1, beziehungsweise d_2 (von denen nur jene unter 100 *km* Punkten innerhalb der Adria entsprechen) begründen die oben erwähnte allerdings sehr geringe Unsymmetrie in Bezug auf die Mittellinie.

Die neuen Isorhachien ließen sich als Verbindungslinien der in vorstehenden Entfernungen von der Mittellinie abgesteckten Punkte sehr leicht auch in die Fig. 2 einzeichnen; doch wurde hievon abgesehen, da es sich im wesentlichen eben nur um eine Parallelverschiebung um $0 \cdot 3$ eines Intervalles gegen Südosten handelt. Man sieht, daß sich speziell bei der Kurve für $\varkappa = 136°$ nach dieser Verschiebung eine etwas bessere Übereinstimmung mit der beobachteten Kappazahl in Sebenico ergibt, daß aber anderseits die frühere Lage des Zentrums den Beobachtungen im Hafen Pantera besser entspricht als die neue.

Es wäre noch nachzusehen, ob wir nicht die Größe $\varkappa_0$, die aus der beobachteten Kappazahl in Pola und den daselbst gültigen theoretischen Amplituden abgeleitet wurde, auf Grund der jetzt ermittelten genaueren Werte etwas abzuändern haben. Am Querschnitt 7 ist bei M_2 an der Mittellinie $\eta = -14 \cdot 10$ *cm* (vgl. Tabelle 8). Die Einwirkung der synchronen Querschwingung verändert diese Amplitude, da Pola 56 *km* östlich der Mittellinie liegt und der Korrektionsfaktor am Querschnitt 7 den Wert $1 \cdot 09$ besitzt, um

$$-0 \cdot 000000048638 \, . \, 1 \cdot 09 \, . \, 56 \, km = -0 \cdot 30 \, cm,$$

so daß wir in Pola $\eta = -14 \cdot 40$ *cm* anzunehmen haben. Die theoretische Amplitude der Querschwingung beträgt dagegen in Pola $0 \cdot 56 \, . \, \bar{\eta}_{100} = 0 \cdot 56 \, . \, 8 \cdot 62 = 4 \cdot 827$ *cm* (vgl. Tabelle 9). Daraus ergibt sich

$$\tan(\varkappa - \varkappa_0) = -\frac{4 \cdot 827}{14 \cdot 40} = -0 \cdot 3352, \quad \varkappa - \varkappa_0 = 161 \cdot 5°.$$

Da $\varkappa = 266 \cdot 7°$ beobachtet ist, folgt hieraus $\varkappa_0 = 105 \cdot 2°$, also fast genau der gleiche Wert wie früher, wo wir (am Ende des Abschnittes II, 2) $\varkappa_0 = 106 \cdot 0°$ gefunden hatten. Es können also die an den einzelnen Isorhachien angeschriebenen Zahlen ohne weiteres auch für die neue Lage der Kurven gültig bleiben.

6. Vergleich mit den Beobachtungen.

Um nun auch die neuen Werte η und $\bar{\eta}_{100}$ mit den Beobachtungsdaten zu vergleichen, ist ihr Verlauf in den Figuren 3, 4, 5 durch die strichpunktierten Kurven ersichtlich gemacht worden, soweit die Ordinatendifferenzen gegenüber den gestrichelten Kurven nicht allzu gering waren, um die Einzeichnung zu ermöglichen. Man sieht deutlich, daß sich die neuen Kurven noch ein wenig besser an die Beobachtungen anschließen,[1] als es bei den gestrichelten, die dem bloßen Mitschwingen entsprochen haben, der Fall war, so daß jetzt die Beobachtungsdaten durch die Theorie wirklich in sehr vollkommener Weise dargestellt werden. Wollten wir ganz genau sein, so müßten wir eigentlich bei den Längsschwingungen den Vergleich nicht mit den in den Figuren eingezeichneten Beobachtungsdaten, sondern mit den auf die Mittellinie reduzierten Amplituden aus Tabelle 6 vornehmen, was in einzelnen Fällen eine noch etwas exaktere Übereinstimmung ergeben würde. Die Unterschiede sind aber so gering, daß eine Neuzeichnung aus diesem Anlasse kaum lohnend erschien. Bei M_2 und S_2 wurden die auf die Mittellinie reduzierten Amplituden der Längsschwingung für Ragusa und Meljine durch je einen zweiten Punkt in die Figuren eingezeichnet, da sie speziell als Ausgangswerte für die Ordinaten der strichpunktierten Kurve verwendet wurden.[2]

Die beiden theoretischen Kurven verlaufen in allen Fällen in einem sehr geringen Abstand voneinander, was zunächst auch den Einfluß der fluterzeugenden Kräfte auf die Adria selbst als einen ziemlich unwesentlichen erscheinen läßt. Dabei ist aber wohl zu beachten, daß wir beiden Theorien die beobachteten Amplituden in der Gegend von Ragusa und nicht jene an der Mündungsstelle der Adria als Ausgangswerte zugrunde gelegt haben. Ziehen wir dagegen die theoretischen Amplituden an der Mündungsstelle der Adria in Betracht, so würde sich dieser Einfluß speziell bei den ganztägigen Komponenten als ein bedeutend größerer ergeben. Wir haben nämlich für die Mündungsstelle (Querschnitt 40) bei der Rechnung mit (und ohne) Berücksichtigung der fluterzeugenden Kräfte bei K_1 1·59 (2·44) *cm*, bei P 0·49 (0·79) *cm*, bei O 0·51 (1·10) *cm* als Amplituden der Längsschwingung erhalten, also in allen drei Fällen Werte, deren Verhältnis von der Einheit ziemlich stark abweicht. Entsprechen also die nach der genaueren Theorie für die Mündungsstelle berechneten Amplituden auch wirklich den Tatsachen (was wir leider bei der Kleinheit ihrer Werte und dem Mangel eines Beobachtungsdatums nicht mit voller Schärfe zu beurteilen vermögen), so müßten sämtliche Ordinaten der gestrichelten Kurve bei K_1 und P etwa auf zwei Drittel, bei O aber sogar auf die Hälfte verkleinert werden, um einerseits wieder den (homogenen) Differentialgleichungen des Mitschwingens zu genügen, anderseits an der Mündungsstelle mit der Kurve der genauen Werte zu koinzidieren. Es würde daraus folgen, daß die großen Amplituden, die die ganztägigen Komponenten am Nordende der Adria aufweisen, nur zu zwei Dritteln dem Mitschwingen mit dem äußeren Meere, zu einem Drittel (bei O sogar zur Hälfte) aber der direkten Einwirkung von Sonne und Mond auf die Adria selbst ihre Entstehung verdanken.

Viel geringer erweist sich dagegen die Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte auf die Amplituden der halbtägigen Partialtiden. An der Endstelle ergibt sich mit (und ohne) Berücksichtigung der fluterzeugenden Kräfte bei M_2 7·55 (7·57) *cm*, bei S_2 4·36 (4·36) *cm*, bei N 1·39 (1·39) *cm*, bei K_2 1·32 (1·31) *cm*, also in allen vier Fällen vollständig gleiche Werte, so daß die in den Figuren eingezeichneten gestrichelten Kurven die Koinzidenzbedingung an der Mündungsstelle bereits befriedigen, ihre geringen Ordinatendifferenzen gegen die strichpunktierten Kurven also nach wie vor den theoretischen Einfluß der direkten Einwirkung von Sonne und Mond auf die Amplituden der Halbstagtiden zur Darstellung bringen.

---

[1] Namentlich bei M_2 und S_2, wo nunmehr vollständige Koinzidenz mit den beobachteten Amplituden in Triest und Pola, den beiden verläßlichsten Stationen, stattfindet. Bei K_1 stimmt Pola gleichfalls besser mit der strichpunktierten, Brindisi dagegen besser mit der gestrichelten Kurve.

[2] Bei Comisa und Pelagosa ist der Unterschied gegen die unreduzierten Werte nur ein ganz minimaler.

7. Die Konstanten an der Mündungsstelle der Adria.

Damit sind wir am Schlusse unserer Untersuchung angelangt. Denn die für die Mündungsstelle erhaltenen Amplituden und Kappazahlen, nämlich (bei der genaueren Rechnung) für

	M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O
$\eta =$	7·55	4·36	1·39	1·31	1·59	0·49	0·51 *cm*
$\varkappa_0 =$	106°	114°	113°	112°	76°	77°	70°

bestimmen zwar, indem sie die Anfangsbedingungen festlegen, den Verlauf der Amplituden und Kappazahlen in der ganzen Adria in eindeutiger Weise, lassen sich aber andrerseits aus der Theorie der Adriagezeiten selbst nicht weiter erklären, sondern hängen ausschließlich von der Gezeitenbewegung im Mittelmeer, speziell im Jonischen Meere ab. Nun habe ich zwar in einer früheren Arbeit auch die Theorie der Mittelmeergezeiten, soweit die vereinigte Sonnen- und Mondflut zur Zeit der Syzygien in Frage kommt, vom hydrodynamischen Standpunkte ziemlich eingehend behandelt[1], halte sie aber andrerseits wohl noch nicht für ausreichend, um auch über den Amplitudenverlauf der einzelnen Partialtiden, insbesondere der ganztägigen, in befriedigender Weise Aufschluß zu geben. Wir wollen uns daher darauf beschränken, die für das Ende der Adria erhaltenen Werte mit den Beobachtungsdaten in Malta zu vergleichen, der einzigen Station am östlichen Mittelmeerbecken, für die die harmonische Analyse halbwegs verläßlich durchgeführt ist. Für Malta wird angegeben[2]: bei

	M_2	S_2	N	K_2	K_1	P	O
$\eta =$	5·99	3·66	0·94	0·97	1·04	0·33	0·76 *cm*
$\varkappa =$	95°	100°	116°	127°	52°	57°	72°

Die für das Ende der Adria anzunehmenden Amplituden sind also sämtlich etwas größer als jene in Malta (bis auf jene von O) und auch die Kappazahlen stimmen leidlich gut mit den für Malta angegebenen, da aus den von denselben Autoren aus drei verschiedenen Jahrgängen für Toulon berechneten harmonischen Konstanten zu entnehmen ist, daß wir auch in Malta bei den Kappazahlen der Halbtagskomponenten mit einer Unsicherheit bis zu 20°, bei den ganztägigen sogar mit einer solchen bis zu 30° zu rechnen haben.

Wir wollen auch noch die Amplitudenverhältnisse vergleichen. Es ergibt sich für

	$S_2:M_2$	$K_2:S_2$	$N:M_2$	$P:K_1$	$O:K_1$	$\frac{K_1+O}{M_2+S_2}$
am Ende der Adria . .	0·58	0·30	0·18	0·32	0·32	0·18
in Malta	0·61	0·27	0·16	0·32	0·73	0·19

Auch diese Werte stimmen bis auf die bereits erwähnte Abweichung bei O sehr gut miteinander. Das letzte Verhältnis, das die relative Entwicklung der Eintagskomponenten zum Ausdruck bringt, hat sowohl an der Mündung der Adria als auch in Malta einen auffallend kleinen Wert; nach der Gleichgewichtstheorie müßte es 0·40 betragen, also mehr als doppelt so groß sein. Dieser Umstand wirft auch auf die Eintagskomponenten innerhalb der Adria ein neues Licht; trotz ihrer scheinbar starken Entwicklung sind nämlich ihre Amplituden nicht einmal halb so groß als sie es wären, wenn das Verhältnis $\frac{K_1+O}{M_2+S_2}$ an der Mündungsstelle seinen Normalwert besäße. Es ist also nicht die besonders starke, sondern eine verhältnismäßig geringe Entwicklung der Eintagskomponenten in der Adria, die noch einer Erklärung auf Grund

[1] »Hydrodynamische Theorie der halbtägigen Gezeiten des Mittelmeeres«. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, math.-naturw. Klasse, Abt. II a, Bd. 124, 1915, p. 905—979.

[2] Capt. Evans und Sir W. Thomson: »On the tides of the Southern Hemisphere and of the Mediterranean«. Nature, 1878, Vol. 18, p. 670—672. — Die Reduktion auf mitteleuropäische Zeit ist bei Malta ($\lambda = 14·5°$) gegenstandslos.

der Theorie der Mittelmeergezeiten bedürftig erscheint, natürlich immer unter der Voraussetzung, daß die für die Mündungsstelle abgeleiteten Amplituden auch wirklich den Tatsachen entsprechen, worüber nur Beobachtungen in Otranto oder Valona einen vollkommen sicheren Aufschluß geben könnten.

Eine Theorie der einzelnen Partialtiden für das Mittelmeer entwickeln zu wollen, wäre heute noch sehr verfrüht; denn wir müßten bei der absolut ungenügenden empirischen Grundlage darauf gefaßt sein, daß sie geradezu durch jedes neue Beobachtungsdatum wieder umgestoßen würde. Wir müssen uns daher damit begnügen, die Theorie der Adriagezeiten vorläufig als eine in sich abgeschlossene betrachten zu können, die Aufklärung des Zusammenhanges mit den Gezeiten des übrigen Mittelmeeres aber einer späteren Zeit vorbehalten, bis uns die harmonischen Konstanten wenigstens für einige weitere Stationen am Mittelmeere bekannt sein werden. Der Theoretiker würde es schon als einen sehr großen Fortschritt in dieser Richtung begrüßen, wenn die Gezeitenkurven der Stationen Neapel, Palermo, Catania und Alexandrien, in denen seit vielen Jahren sehr gute Mareographen in Tätigkeit sind, der harmonischen Analyse unterworfen würden. Für eine genaue Untersuchung des Zusammenhanges mit den Adriagezeiten wäre dann speziell auch die Ermittlung der harmonischen Konstanten in Corfu von großem Werte, die allerdings erst die Durchführung neuer verläßlicher Beobachtungen zur Voraussetzung hätte.

IV. Die „Seiches“.

Außer den Gezeitenbewegungen im eigentlichen Sinne des Wortes hat v. Kesslitz auf Grund der Differenzkurven zwischen den beobachteten und den aus den harmonischen Konstanten berechneten Gezeitenkurven an einzelnen stürmischen Tagen auch noch periodische Oberflächenbewegungen festgestellt, von denen jene mit einer ungefähr 23 stündigen Periode mit ziemlicher Regelmäßigkeit auftreten. Die Amplitude dieser Art von Schwingungen, die in Pola und Ragusa stets die gleiche Phase besitzen, ist von den Witterungsverhältnissen abhängig und betrug zum Beispiel am 22., 23. und 24. März 1906 in Pola durchschnittlich 32, in Ragusa 12 *cm*. Aus der Übereinstimmung der Phase ist zunächst wohl mit Sicherheit zu schließen, daß es sich bei diesen Oberflächenschwankungen um einen einheitlichen Schwingungsvorgang innerhalb der ganzen Adria handelt, der den Charakter einer »Seiche« an sich trägt. Es soll hier noch kurz die Frage behandelt werden, inwieweit es gelingt, das Auftreten von Schwingungen der genannten Periode aus den Dimensionen des Adriabeckens theoretisch zu erklären.

Daß die sogenannte Merian'sche Formel, die die Eigenperiode einer schwingenden Bucht in erster Näherung zu berechnen lehrt, auch nach ihrer von den Japanern[1] durch Anbringung einer sogenannten Gestaltkorrektion vorgenommenen Verbesserung zu dieser Erklärung nicht ausreicht, habe ich in der zweiten der eingangs zitierten Arbeiten gezeigt; ich erhielt nämlich bei möglichst genauer Rechnung in voller Übereinstimmung mit R. Witting[2] nach dieser Formel als Eigenperiode der Adria bloß etwa 16·4 Stunden, so daß Schwingungen der Adria mit einer etwa 23 stündigen Periode vom theoretischen Standpunkte zunächst als ziemlich unwahrscheinlich erscheinen müßten, wenn nicht noch die zweite Möglichkeit offen bliebe, daß nämlich auch die Formel der Japaner im vorliegenden Falle, wo die Gestaltkorrektion sehr groß ist, vielleicht von der Wahrheit sehr stark abweichende Resultate liefern könnte.

---

[1] K. Honda, T. Terada, Y. Yoshida und D. Isitani: »An investigation of the secondary undulations of oceanic tides«, Tokyo 1908, p. 64. Vgl. auch p. 109, wo die Eigenperiode der Adria mit 15 Stunden angegeben wird.

[2] »Tidvattnen i Östersjön och finska viken« (Fennia 29). Helsingfors 1911, p. 54 Anm. Das der beobachteten Periode viel näher kommende Resultat A. Defants (Ann. d. Hydr. 1911) beruht auf Rechenfehlern, nach deren Verbesserung R. Witting aus den Defant'schen Ausmessungsresultaten 15·6 Stunden als Eigenperiode der Adria findet.

Um hierüber in einwandfreier Weise Aufschluß zu erhalten, habe ich nun mit Benützung der im ersten Abschnitte mitgeteilten genaueren Ausmessungsresultate eine Reihe von Versuchsrechnungen angestellt, um zu ermitteln, welche Periode T eine Schwingung haben müßte, wenn man, von einer beliebigen Amplitude am Nordende der Adria ausgehend, durch sukzessives Weiterrechnen mit Hilfe der Differentialgleichungen (1) und (2) an der Straße von Otranto eine exakte Knotenlinie vorfinden sollte. Es ergab sich hierbei mit großer Schärfe $T = 21 \cdot 12$ Stunden, also tatsächlich ein bedeutend größerer Wert als nach der verbesserten Merian'schen Formel. Die Differentialgleichung (1) nimmt für diesen Wert von T die Form an

$$\Delta\eta' = 0 \cdot 00001428 \cdot \xi'$$

und liefert, wenn wir am inneren Ende der Adria willkürlich $\eta' = 50$ *cm* setzen, nach der im zweiten Abschnitte verwendeten Rechenmethode an den einzelnen Querschnitten folgende Amplituden:

Tabelle 10.

Querschnitt	η' cm	Querschnitt	η' cm	Querschnitt	η' cm	Querschnitt	η' cm	Querschnitt	η' cm	Querschnitt	η' cm
1	50·00	7	41·32	13	29·04	20	18·88	27	7·87	34	5·80
2	49·10	7*	39·68	14	26·71	21	17·52	28	7·49	35	5·22
3	47·86	8	39·36	15	24·62	22	15·95	29	7·19	36	4·54
4	46·28	9	37·86	16	23·02	23	14·25	30	6·94	37	3·58
5	44·72	10	35·85	17	21·92	24	12·27	31	6·70	38	2·42
6	43·02	11	33·79	18	21·12	25	10·16	32	6·42	39	1·02
6*	39·81	12	31·50	19	20·06	26	8·77	33	6·15	40	0·00

Man sieht also, daß sich bei Schwingungen mit einer Periode von 21·12 Stunden in der Straße von Otranto eine exakte Knotenlinie ausbilden würde.

An den gefundenen Wert der Periode ist nun aber noch die sogenannte Mündungskorrektion multiplikativ anzubringen. Diese hängt vom Verhältnis der Mündungsbreite zur Länge des schwingenden Kanals ab und beträgt für die Adria, für die letzteres den Wert 0·10 hat, 1·105.[1] Bei Berücksichtigung dieser Korrektion nimmt die Eigenperiode der Adria somit den theoretischen Wert

$$T = 21 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 105 = 23 \cdot 34 \text{ Stunden}$$

an, der mit dem beobachteten von 23 Stunden sogar sehr gut übereinstimmt. Wir können also nach der hier durchgeführten wesentlich exakteren Rechnung annehmen, daß Seiches einer 23stündigen Periode mit den Dimensionen der Adria durchaus im Einklang sind, während die bloße Anwendung der korrigierten Merian'schen Formel ein viel zu kleines und damit irreführendes Resultat für die Eigenperiode der Adria ergeben hatte.

Die Anbringung der Mündungskorrektion hebt die Annahme einer exakten Knotenlinie in der Straße von Otranto eigentlich wieder auf, weil ja innerhalb des schwingenden Kanals die Differentialgleichung (1) für $T = 23$ Stunden gültig sein muß, andrerseits aber nur für die bedeutend kleinere Periode $T = 21 \cdot 12$ Stunden die Amplitude am Querschnitt 40 tatsächlich auf Null herabgesunken ist. Wir müssen also annehmen, daß an dem wirklichen Schwingungsvorgang auch noch der nördlichste Teil des Jonischen Meeres beteiligt ist, also ungefähr die gleichen Verhältnisse vorliegen, wie wir sie im zweiten Abschnitte beim Mitschwingen

[1] Vgl. Krümmel, Ozeanographie, 2. Aufl., Bd. 2, p. 163.

infolge der Eintagskomponente K_1 festgestellt haben. Damit stimmt auch das beobachtete Verhältnis der Amplituden der Seiches in Ragusa (Querschnitt 28·8) und Pola (Querschnitt 7), das mit seinem Werte 0·38 der analogen Verhältniszahl bei den Längsschwingungen von K_1, nämlich 0·34, nahezu gleichkommt. Würde bei Otranto eine genaue Knotenlinie entstehen, so entnimmt man der vorstehenden Tabelle, daß das Amplitudenverhältnis Ragusa : Pola nur den etwa halb so großen Wert 0·18 haben könnte.

Die eben erhaltenen Rechnungsergebnisse lassen erkennen, daß auch die durch meteorologische Ursachen, in erster Linie wohl durch Schwankungen der Luftdruckdifferenzen über der Adria und dem übrigen Mittelmeer und durch Windstauungen angeregten seichesartigen Schwingungen der Adria, durch die der normale Ablauf des Gezeitenphänomens mitunter erhebliche Störungen erleidet, im Rahmen der hier entwickelten Theorie ohne Schwierigkeiten erklärbar sind.

Zusammenfassung.

1. Der vorstehenden Untersuchung liegt das Beobachtungsmaterial zugrunde, das Herr Konteradmiral W. v. Kesslitz im ersten Teil dieser Veröffentlichung mitgeteilt hat. Es umfaßt die Ergebnisse der harmonischen Analyse der Gezeitenkurven von 16 Stationen an der Adria und ermöglicht es daher, den Verlauf der Amplituden und Kappazahlen jeder einzelnen Partialtide innerhalb der Adria genau zu verfolgen.

2. Zunächst ergibt die Diskussion der Beobachtungsdaten, daß jeder einzelnen Partialtide eine Längs- und eine Querschwingung der Adria zugehört, deren Phasen um ein Viertel der Periode voneinander verschieden sind. Aus der Untersuchung der vereinigten Sonnen- und Mondflut zur Zeit der Syzygien ist uns bereits bekannt, daß die Längsschwingung dem Mitschwingen mit der äußeren Gezeitenbewegung des Jonischen Meeres, die Querschwingung aber der Einwirkung der Erdrotation auf die sich in der Längsrichtung periodisch verschiebenden Wasserteilchen ihre Entstehung verdankt.

3. Die Anwendung der Differentialgleichung des bloßen Mitschwingens $\frac{d\eta}{dx} = \frac{4\pi^2}{gT^2} \cdot \xi$, wo ξ und η die Amplituden der horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen in der Entfernung x vom Nordende und T die Periode bedeuten, führt bei Festhaltung der Beobachtungsdaten in der Gegend von Ragusa als Anfangsbedingung bereits zu einer durchaus befriedigenden Übereinstimmung mit den beobachteten Amplituden der Längsschwingungen. Namentlich ergibt sich dabei auch die Lage der Knotenlinie, die bei allen Halbtagsgezeiten in der Nähe der Nordspitze der Isola lunga entsteht, mit großer Exaktheit.

4. Die Übereinstimmung mit den beobachteten Amplituden wird am nördlichen Ende der Adria eine noch etwas vollkommenere, wenn man auch die Einwirkung der einzelnen fluterzeugenden Kräfte auf die Längsschwingungen berücksichtigt, also die Differentialgleichungen in der Form

$$\frac{d\eta}{dx} = \frac{4\pi^2}{gT^2} \cdot \xi + \frac{f}{g} \cos\varphi \cos\mu$$

der Rechnung zugrundegelegt, wo $f \cos\varphi$ die der betreffenden fluterzeugenden Kraft in der Breite φ zugehörige Beschleunigung und μ den Neigungswinkel der Mittellinie der Adria gegen die Parallelkreise bezeichnet.

5. Die theoretischen Amplituden der Querschwingungen ergeben sich zunächst im gleichen Ausmaße wie die unter dem Einflusse der Erdrotation entstehenden periodischen Neigungen der Niveaufläche, nämlich im Betrage $\tan\alpha = \frac{2\omega \sin\varphi}{g} \cdot v$, wo ω die Winkelgeschwindigkeit der Erde und v die

beim Durchgang durch die Ruhelage erreichte maximale Verschiebungsgeschwindigkeit der Wasserteilchen infolge der Längsschwingung bedeutet. Bei Berücksichtigung des vergrößernden Einflusses, den die Trägheit des Wassers auf die nach dieser Formel berechneten Amplituden $\pm\alpha$ ausübt, erweisen sie sich gleichfalls in so genauer Übereinstimmung mit den beobachteten Werten, daß wohl kein Zweifel darüber bestehen kann, daß wir in der Einwirkung der Erdrotation in der Tat die alleinige Ursache dieser Querschwingungen zu suchen haben.

6. Die Zusammensetzung der Längs- und Querschwingung führt bei den halbtägigen Tiden, bei denen eine Knotenlinie der Längsschwingung vorhanden ist, zu je einer Amphidromie, das heißt zu einer Umkreisung des Meeres durch das betreffende Hochwasser im Laufe der zugehörigen Periode. Jene für die Hauptmondtide M_2 wurde genau durchgerechnet und erwies sich in vollem Einklang mit den in den einzelnen Stationen beobachteten Kappazahlen.

7. Bei den ganztägigen Tiden, bei denen sich in der ganzen Adria keine Knotenlinie der Längsschwingung ausbildet, haben wir gewissermaßen nur den nördlichsten Abschnitt einer solchen Amphidromie vor uns; es entstehen hier nur unwesentliche Verkleinerungen der Kappazahlen an der Ostküste und Vergrößerungen an der Westküste.

8. Für das Ende der Adria ergeben sich nach der genaueren Rechnung zwar bei den Halbtagsgezeiten die gleichen, bei den ganztägigen aber bedeutend kleinere Amplituden als unter der Annahme bloßen Mitschwingens, woraus zu folgern ist, daß die direkte Einwirkung von Sonne und Mond auf die Eintagskomponenten in der ganzen Adria einen ziemlich stark vergrößernden Einfluß ausübt.

9. Der Kanal von Zara zeigt hinsichtlich der Längsschwingungen gegenüber dem Hauptteil der Adria ein ziemlich abweichendes Verhalten. Dies hat darin seinen Grund, daß er südöstlich von Zara eine fast vollständige Abschnürung aufweist und außerdem mit dem offenen Meere nur durch ganz schmale Durchfahrten, mit dem nördlich anschließenden Quarnerolo aber an einer außerordentlich breiten Übergangsstelle zusammenhängt, also sozusagen synchron mit dem südlichen Ende des Quarnerolo mitschwingen muß.

10. Die für die Mündungsstelle der Adria, von der leider keine Beobachtungen vorliegen, durch Fortsetzung der numerischen Integration erhaltenen Amplituden stimmen in ihren Verhältnissen ziemlich genau mit den in Malta beobachteten überein. Dasselbe gilt auch von den für die Mündungsstelle anzunehmenden Kappazahlen.

11. Die unmittelbare Anwendung der hydrodynamischen Differentialgleichungen gestattet schließlich auch die Erklärung der in Pola und Ragusa beobachteten seichesartigen Schwingungen der ganzen Adria mit einer ungefähr 23stündigen Periode, während die bloße Verwendung der durch die Japaner verbesserten Merian'schen Formel hiezu nicht ausgereicht hatte.

12. Zusammenfassend kann man sagen, daß sich alle heute vorliegenden Beobachtungsdaten über die Gezeiten des Adriatischen Meeres auf Grund der einfachsten Gesetze der Hydrodynamik vollständig erklären ließen, soweit es sich um den Verlauf der Amplituden und Kappazahlen innerhalb der Adria selbst handelt. Damit finden aber zugleich offenbar auch alle jene Beobachtungstatsachen ihre theoretische Begründung, die sich aus der Zusammensetzung beziehungsweise Interferenz der einzelnen Partialtiden ableiten lassen und im ersten Teile dieser Veröffentlichung eine eingehende Besprechung erfahren haben. Dagegen muß die theoretische Erklärung der für die Mündungsstelle der Adria gültigen Konstanten als ein Problem, das ausschließlich die Mittelmeergezeiten betrifft, wohl noch der Zukunft vorbehalten bleiben.

Erklärung der Figuren.

Fig. 1 zeigt die zur vereinigten Sonnen- und Mondflut zur Zeit der Syzygien zugehörige Amphidromie, wie sie sich aus den Hafenzeiten von 49 Stationen rein empirisch unter der Annahme geradliniger Isorhachien ergeben hatte.

Fig. 2 enthält die bei den numerischen Integrationen benützten 40 Querschnitte der Adria und die theoretisch berechnete Amphidromie zur Hauptmondtide M_2 sowie die Beobachtungsstationen, für die die harmonische Analyse durchgeführt ist.

Fig. 3, 4, 5 veranschaulichen den Vergleich der Beobachtungsdaten mit der Theorie. Die Punkte und ihre ausgezogenen Verbindungslinien entsprechen den beobachteten Amplituden der zu den einzelnen Partialtiden gehörigen Längs- und Querschwingungen, die gestrichelten Kurven dem theoretischen Amplitudenverlauf bei bloßem Mitschwingen mit dem Jonischen Meere und die strichpunktierten Kurven jenem bei Mitberücksichtigung der Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte auf die Wassermassen der Adria.

DIE WINDVERHÄLTNISSE IN DER MITTLEREN ADRIA NACH DEN WINDMESSUNGEN AUF DER INSEL PELAGOSA

VON

EDUARD MAZELLE

K. M. AKAD.

MIT 2 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 2. MAI 1918

Schon lange hegte ich den Plan, auf der nahezu mitten im Adriatischen Meere gelegenen kleinen Insel Pelagosa, die für einwandfreie Windmessungen wie geschaffen erscheint, einen Windmesser zur stetigen Aufzeichnung der Windrichtung und Windstärke aufzustellen. Da auf dieser Insel seitens der österreichischen Seeverwaltung ein Leuchtfeuer erhalten wird, war auch die Möglichkeit gegeben, die Überwachung und Inbetrieberhaltung dieses Selbstschreibers durch die Bediensteten der Seeleuchte durchführen zu lassen.

Eine Subvention der Akademie der Wissenschaften in Wien ermöglichte mir die Durchführung dieses Vorsatzes. Als geeignetes Instrument wurde der Anemograph nach Beckley gewählt, welcher bekanntlich die Richtung und Geschwindigkeit des Windes kontinuierlich auf eine mit Metallpapier überspannte und durch ein Uhrwerk in regelmäßige Drehung erhaltenen Trommel aufzeichnet und durch seine einfache Bauart die Gewähr bietet, durch einen Seeleuchtenwächter in ungestörtem Betrieb erhalten zu bleiben.

Dieser von der Firma R. Fuess in Steglitz gelieferte Anemograph gelangte im Mai 1912 zur Aufstellung,[1] und zwar wurde er in 92 *m* Entfernung von der Westseite des auf der höchsten Kuppe, Monte Castello, gelegenen Leuchtfeuergebäudes (geogr. Breite 42° 23·5′ N und Länge 16° 15·2′ E von Greenw.) auf einem eigenen, in den Felsboden befestigten eisernen Gerüste montiert. Zum Schutze der registrierenden Teile wurde ein zwischen dem Anemographengerüste freistehendes Häuschen in Zement aufgeführt, welches mit wetterfesten Tür- und Fensterverschlüssen versehen, auch Platz für den Beobachter bei Bedienung des Anemographen bietet. Die Höhe des Anemometer-Schalenkreuzes über der Plattform vor der Eingangstür beträgt 7·2 *m*, die Seehöhe 110 *m*. Figur 1 und 2 stellen Lage und Aufstellung des Anemographen nach photographischen Aufnahmen des Herrn Ingenieur Faidiga dar.

[1] Siehe »Anzeiger« der Akad. d. Wiss. in Wien, Nr. XVII, Sitzung der mathem.-naturw. Klasse vom 4. Juli 1912.

Das Häuschen wurde von der Bauunternehmung Marinkovic gebaut unter Leitung der in Spalato exponierten Bauoberkommissäre der Seebehörde, Herrn Ingenieur Linardovich und Herrn Ingenieur Juricevic. Die Montierung des Anemographen, die Überwachung der Maurerarbeiten wurde vom Mechaniker des Seeleuchtenamtes in Triest, Andreas Stebel, durchgeführt.

Die Aufstellung des Registrierapparates besorgte der Adjunkt des maritimen Observatoriums in Triest, Herr Ingenieur Faidiga, welcher auch die Kontrollbeobachtungen mit einem Taschenanemometer von Fuess vornahm und die Seeleuchtenwächter in der Behandlung des Anemographen instruierte. Durch Anbringung einer eigenen Mire auf der Seeleuchte wurde die stete Kontrolle der Windfahne ermöglicht.

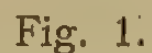
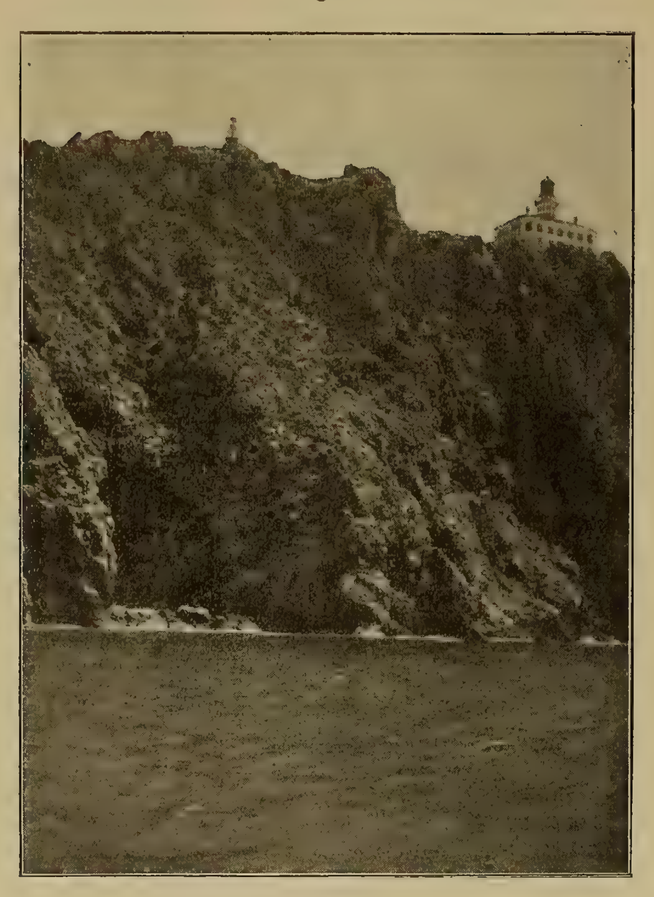


Fig. 1.



Seeleuchte und Anemograph auf der Insel Pelagosa.

Die glatte Erledigung aller dieser Arbeiten wurde aber nur dadurch erreicht, daß der Herr Präsident der Seebehörde in Triest einen eigenen Regierungsdampfer zur Verfügung stellte, die Durchführung der Bauarbeiten durch die Organe der Seeverwaltung anordnete und die Heranziehung der Seeleuchtenwächter zur täglichen Bedienung des Anemographen bewilligte.

Zu Anfang waren einige Schwierigkeiten infolge schlechten Registrierpapieres zu überwinden. Mit Ende Juni 1912 beginnt die Reihe der Aufzeichnungen, welche bis Ende August 1914 ununterbrochen weitergeführt werden konnten. Die aus den Kriegsberichten bekannten Vorkommnisse auf der Insel Pelagosa hatten die Unterbrechung der Registrierungen zur Folge.

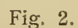
Als erste Reihe der kontinuierlichen Windaufzeichnungen auf Pelagosa liegen demnach die stündlichen Angaben über Richtung und Geschwindigkeit für die 26 Monate von Anfang Juli 1912 bis Ende August 1914 vor.

Es soll diese kurze Beobachtungsreihe, da eine Fortsetzung derselben in der nächsten Zeit kaum zu erwarten steht, zur Ableitung vorläufiger Ergebnisse über die Windverhältnisse auf diesem mitten in der Adria freigelegenen, jedem störenden Landeinfluß entzogenen Eiland herangezogen werden.

Die Bearbeitung ist als eine Fortsetzung meiner Untersuchung über die Windverhältnisse auf der bei der Südspitze von Istrien gelegenen Klippe Porer [1] zu betrachten.

Täglicher Gang der Windgeschwindigkeit.

Zur Bestimmung des täglichen Ganges der Windgeschwindigkeit wurden vorerst für die einzelnen Monate die unperiodischen Änderungen unter Zuhilfenahme der Werte der ersten Mitternachtsstunde


Fig. 2.



Anemograph auf Pelagosa.

abgeleitet. Die danach korrigierten Stundenmittel für die 26 Monate, Juli 1912 bis inklusive August 1914, finden sich im Anhang, Tabelle I.

Schon aus diesen Mittelwerten ergibt sich, daß die größten mittleren Geschwindigkeiten auf die Nachtstunden fallen, und zwar erheben sich die Stundenmittel über das entsprechende Monatsmittel mit der größten Frequenz in den Stunden von 6^h abends bis 6^h früh.

Die Stunden von 7^h abends bis 11^h nachts zeigen in diesen 26 Monaten am häufigsten Werte über das zugehörige Monatsmittel, während die Stunden von 11^h vormittags bis 3^h nachmittags am häufigsten Geschwindigkeitsmittel unter diesen Monatsmitteln aufweisen, und zwar sind

---

[1] Die tägliche Periode der Windrichtung und Windstärke nach den anemometrischen Aufzeichnungen auf der Klippe Porer. 87. Band der Denkschriften der mathem.-naturw. Klasse der Akad. der Wiss. in Wien, 1911.

bei	7^h p.	8^h p.	9^h p.	10^h p.	11^h p.
in	85	96	96	92	85% der Fälle die Stundenmittel über, und
bei	11^h a.	12^h a.	1^h p.	2^h p.	3^h p.
in	81	85	96	96	85% der Fälle die Stundenmittel unter den dazu-

gehörigen Monatsmitteln.

Die größten und kleinsten Stundenmittel in den einzelnen 26 Monaten kommen 21 mal, das ist mit 81% Häufigkeit in den Stunden von 7^h abends bis Mitternacht vor, die kleinsten mit der gleichgroßen Wahrscheinlichkeit in den Tagesstunden zwischen 10^h vormittags und 5^h nachmittags.

Die Monatsmittel der Windgeschwindigkeit schwanken in dieser Beobachtungsreihe zwischen 19·0 (August 1914) und 33·6 (März 1914) *km* pro St. oder 5·3 und 9·3 *m* pro Sek.

Aus diesen Monatsmitteln wurden die Stundenmittel für die vier Jahreszeiten, für das Winter- und Sommerhalbjahr, wie für das Jahr gebildet. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1.

Täglicher Gang der Windgeschwindigkeit.

In Kilometern pro Stunde.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
1^h a.	27·5	28·0	22·2	27·4	28·0	24·2	26·0
2	28·0	28·7	22·2	26·7	28·4	24·1	26·1
3	28·2	27·1	22·1*	26·1	28·1	23·5	25·6
4	28·8	27·0	22·3	26·1	28·5	23·4	25·8
5	28·7	26·6	**22·4**	25·9	28·5	23·2	25·6
6	28·3	26·2	21·9	24·9	27·7	22·8	25·1
7	**29·3**	26·8	21·8	25·1	28·4	22·9	25·4
8	28·6	26·5	20·9	25·0	28·2	22·1	24·9
9	28·4	26·3	20·1	24·5	28·0	21·5	24·5
10	29·0	26·2	20·2	24·2	28·3	21·3	24·5
11	27·8	25·3	19·4	23·0	27·4	20·2*	23·5
12	26·8	25·0	19·3*	22·9	26·5	20·4	23·2*
1^h p.	26·5	24·6*	20·2	23·8	26·0	21·3	23·5
2	25·9	24·8	20·0	23·1	25·5	21·2	23·2*
3	25·9*	24·9	21·7	22·5*	25·3*	22·1	23·6
4	26·1	25·6	22·9	24·0	26·1	23·1	24·5
5	26·3	26·9	23·6	25·0	26·8	24·1	25·3
6	27·2	27·5	24·2	25·6	27·7	24·5	26·0
7	28·7	28·7	25·1	26·5	29·3	25·2	27·1
8	28·9	**30·1**	**25·3**	27·4	**29·8**	25·9	27·7
9	29·0	30·0	25·2	27·3	29·7	**25·9**	**27·7**
10	**29·6**	29·4	25·2	27·3	**29·8**	25·9	27·7
11	28·7	29·7	23·8	**27·9**	29·5	25·3	27·2
12	27·3*	28·2	22·7	27·7	28·0	24·6	26·2
Mittel	27·9	27·1	22·3	25·4	27·9	23·3	25·4

Im Winter erhebt sich die Gangkurve von 7^h abends bis 11^h nachts und von 2^h früh bis 10^h vormittags über den Mittelwert, welcher 27·9 *km* pro St. erreicht. Das Maximum fällt auf 10^h nachts und ein sekundäres Maximum auf 7^h früh. Das Minimum ist um 3^h nachmittags zu ersehen, ein sekundäres Minimum um Mitternacht. Im Frühjahr und Herbst sind die größeren Stundenmittel von

6^h nachmittags bis 3^h früh, beziehungsweise 5^h früh zu entnehmen; das Maximum fällt im Frühjahr auf 8^h abends, im Herbst auf 11^h nachts, das Minimum um 1^h beziehungsweise 3^h nachmittags. Im Sommer erreicht das allgemeine Mittel 22·3 *km* pro St., Stundenmittel über diesem Werte kommen von 4^h nachmittags bis Mitternacht vor, mit dem Maximum um 8^h abends. Das Minimum fällt auf Mittag. Eine sekundäre Schwankung ist in den Morgenstunden zu bemerken, mit dem kleineren Mittelwert um 3^h und dem größeren um 5^h früh.

Die tägliche Schwankung ist im Winter kleiner, im Sommer größer; im Frühjahr und Herbst resultiert dieselbe mit zwischen den Winter- und Sommerwerten liegenden, nahezu gleichgroßen Beträgen, und zwar:

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Amplitude	3·7	5·5	6·0	5·4	4·5
Quotient	1·14	1·22	1·31	1·24	1·19

Für das Winter- und Sommerhalbjahr, wie auch für das Jahresmittel wurde die tägliche Periode durch Sinusreihen dargestellt. Die berechneten Gleichungen, in welchen $x = 0$ für die Stunde von Mitternacht bis 1^h früh zu setzen ist, sind nachfolgende:

Jahr:

$$y = 25{\cdot}41 + 1{\cdot}756 \sin(118^\circ\ 19' + x.15^\circ) + 0{\cdot}858 \sin(240^\circ\ 9' + x.30^\circ) + 0{\cdot}151 \sin(311^\circ\ 30' + x.45^\circ)$$

mit $a_1 = 1{\cdot}546$ $\quad a_2 = -0{\cdot}744$ $\quad a_3 = -0{\cdot}113$

$b_1 = -0{\cdot}833$ $\quad b_2 = -0{\cdot}427$ $\quad b_3 = 0{\cdot}100$

Winterhalbjahr:

$$y = 27{\cdot}90 + 1{\cdot}281 \sin(94^\circ\ 7' + x.15^\circ) + 1{\cdot}155 \sin(222^\circ\ 37' + x.30^\circ) + 0{\cdot}406 \sin(333^\circ\ 22' + x.45^\circ)$$

mit $a_1 = 1{\cdot}278$ $\quad a_2 = -0{\cdot}782$ $\quad a_3 = -0{\cdot}182$

$b_1 = -0{\cdot}092$ $\quad b_2 = -0{\cdot}850$ $\quad b_3 = 0{\cdot}363$

Sommerhalbjahr:

$$y = 23{\cdot}28 + 2{\cdot}285 \sin(129^\circ\ 30' + x.15^\circ) + 0{\cdot}732 \sin(264^\circ\ 7' + x.30^\circ) + 0{\cdot}131 \sin(199^\circ\ 41' + x.45^\circ)$$

mit $a_1 = 1{\cdot}763$ $\quad a_2 = -0{\cdot}728$ $\quad a_3 = -0{\cdot}044$

$b_1 = -1{\cdot}453$ $\quad b_2 = -0{\cdot}075$ $\quad b_3 = -0{\cdot}123$

Der darnach abgeleitete tägliche Gang für die Windgeschwindigkeit ist in Tabelle 2 ersichtlich.

Der tägliche Gang der Windgeschwindigkeit auf Pelagosa nähert sich ganz dem auf freien Höhen. Die Windstärke ist nachtsüber größer, tagsüber hingegen kleiner.

Im Jahresmittel beginnt der Wind nach 5^h nachmittags sich über den Mittelwert zu erheben, er erreicht die größte Stärke um 9^h abends und sinkt erst um 6^h früh unter das Tagesmittel. Die Stärke nimmt sodann kontinuierlich bis 1^h nachmittags ab, um hierauf wieder regelmäßig zuzunehmen. Durch 11 Stunden bleiben die Stundenwerte unter dem Mittelwert der Windgeschwindigkeit, durch 13 Stunden über demselben. Durch 8 Stunden, von 1^h bis 9^h abends, nimmt die Geschwindigkeit zu, besonders stark in den Stunden von 3 bis 8^h. Bemerkenswert ist die geringfügige Abnahme der Windstärke in den ersten Morgenstunden, namentlich von 2 bis 6^h früh.

Auch für das Winter- und Sommerhalbjahr ergeben sich ganz regelmäßige Gangkurven. Das Maximum der Windstärke wird in der warmen, wie in der kalten Jahreshälfte um 9^h abends erreicht. Das Minimum fällt im Winter später, auf 3^h nachmittags, im Sommer früher, auf Mittag. Im Winter erhebt sich die Gangkurve über den Mittelwert vor 6^h abends, im Sommer bereits nach 4^h nachmittags. Größer ist die Verschiebung der Eintrittszeiten der ersten negativen Ordinate, und zwar sinkt die Gangkurve unter den Mittelwert im Winter erst nach 10^h vormittags, während im Sommer

Tabelle 2.

Berechneter täglicher Gang der Windgeschwindigkeit.

	Winterhalbjahr		Sommerhalbjahr		Jahr	
1h a.	28·21	0·31	24·27	0·99	26·10	0·69
2	28·14*	0·24*	23·82	0·54	25·82	0·41
3	28·20	0·30	23·53	0·25	25·69	0·28
4	28·27	0·37	23·37	0·09	25·64	0·23
5	**28·30**	**0·40**	23·25	—0·03	25·58	0·17
6	28·26	0·36	23·04	—0·24	25·45	0·04
7	28·23	0·33	22·68	—0·60	25·22	—0·19
8	28·20	0·30	22·14	—1·14	24·91	—0·50
9	28·12	0·22	21·52	—1·76	24·54	—0·87
10	27·91	0·01	20·96	—2·32	24·15	—1·26
11	27·45	—0·45	20·60	—2·68	23·75	—1·66
12	26·77	—1·13	20·55*	—2·73*	23·42	—1·99
1h p.	26·02	—1·88	20·84	—2·44	23·23*	—2·18*
2	25·46	—2·44	21·40	—1·88	23·28	—2·13
3	25·35*	—2·55*	22·18	—1·10	23·65	—1·76
4	25·83	—2·07	23·04	—0·24	24·33	—1·08
5	26·81	—1·09	23·91	0·63	25·25	—0·16
6	28·04	0·14	24·70	1·42	26·23	0·82
7	29·14	1·24	25·34	2·06	27·09	1·68
8	29·81	1·91	25·75	2·47	27·62	2·21
9	**29·93**	**2·03**	**25·90**	**2·62**	**27·76**	**2·35**
10	29·59	1·69	25·75	2·47	27·53	2·12
11	29·04	1·14	25·36	2·08	27·06	1·65
12	28·52	0·62	24·82	1·54	26·54	1·13
Mittel	27·90	0·97	23·28	1·43	25·41	1·15

dies bereits vor 5^h früh der Fall ist. Die nachmittags stattfindende Zunahme der Windstärke ist im Winter größer als im Sommer.

Hervorzuheben wäre für den Sommer die kleine Abnahme der Windgeschwindigkeit in den Stunden von 3 bis 6^h früh, während im Winter sich deutlich in den Morgenstunden ein sekundäres Maximum ausbildet. Die Geschwindigkeit hört um 2^h morgens zu fallen auf, nimmt bis 5^h an Stärke zu, um sodann vorerst langsam bis nach 9^h vormittags abzunehmen und dann rasch zum Hauptminimum abzufallen. Dieses sekundäre Morgenmaximum der Windgeschwindigkeit kommt in der Sommer- und Jahreskurve nur durch das verlangsamte Abfallen der Gangkurve zum Ausdruck.

Im Winterhalbjahr sind im Vergleiche zum Sommerhalbjahr durch eine längere Zeit des Tages größere Windgeschwindigkeiten als der Mittelwert zu beobachten; die Gangkurve erhebt sich im Winter durch 17 Stunden über den Mittelwert, im Sommer nur durch 12 Stunden.

In der kälteren Jahreshälfte resultiert eine mittlere Geschwindigkeit von 27·9 *km* pro Stunde, für die wärmere 23·3, im Jahresdurchschnitt ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeit von 25·4 *km* pro Stunde.

Die Schwankungen der Gangkurven sind in nachfolgender Zusammenstellung ersichtlich. Aus dieser läßt sich entnehmen, daß der kleineren Windgeschwindigkeit des Sommers eine größere Schwankung in der täglichen Periode zukommt

		Winter	Sommer	Jahr
Mittlere Geschwindigkeit	ν	27·90	23·28	25·41
Amplitude	$\Delta\nu$	4·58	5·35	4·53
Max.: Min.		1·18	1·26	1·20
Mittlere Ordinate	μ	0·97	1·43	1·15
	$\frac{\Delta\nu}{\nu}$	0·164	0·230	0·178
	$\frac{\mu}{\nu}$	0·035	0·062	0·045

Vergleichen wir den täglichen Gang von Pelagosa mit den täglichen Perioden der mittleren Windgeschwindigkeiten von Triest, Lesina und Porer,[1] so ersehen wir zwischen Triest und Lesina noch eine Ähnlichkeit im täglichen Gange. Die größeren Windgeschwindigkeiten sind tagsüber zu entnehmen, in Triest von 7^h a. bis nach 5^h p., mit dem Maximum um Mittag, in Lesina von 9^h a. bis nach 7^h p., mit dem größten Werte um 3^h p. In Porer verschieben sich diese größeren Geschwindigkeiten auf die Nacht- und Vormittagsstunden, da die positiven Ordinaten von Mitternacht bis Mittag zu entnehmen sind; das Maximum fällt auf 9^h vormittags, mit einem sekundären Maximum um 4^h früh, während das Minimum um 4^h nachmittags zu entnehmen ist. In Pelagosa zeigen sich hingegen die größeren Windgeschwindigkeiten nur in den Nachtstunden, und zwar fallen die positiven Ordinaten auf die Zeit von 6^h abends bis 6^h früh. Das Maximum wird um 9^h abends erreicht, zu einer Zeit, in welcher Triest das Minimum aufweist. Die kleinste mittlere Windgeschwindigkeit ist auf Pelagosa um 1^h p. zu entnehmen, während in Triest gleich nach Mittag der größte Mittelwert zu beobachten ist. Der tägliche Gang der mittleren Windgeschwindigkeit ist demnach in Pelagosa fast genau entgegengesetzt dem von Triest.

Der auf Pelagosa resultierende Gang mit dem Maximum in der Nacht und dem Minimum bei Tag zeigt eine Übereinstimmung mit dem von Hellmann[2] nach den Nauener Beobachtungen abgeleiteten Höhentypus.

Die täglichen Schwankungen der Perioden in den vier adriatischen Stationen lassen sich aus den nachfolgenden Größen ersehen:

	Triest	Porer	Lesina	Pelagosa
ν	13·94	25·52	19·51	25·41
$\Delta\nu$	3·03	2·82	4·19	4·53
Max. : Min.	1·24	1·12	1·24	1·20
μ	0·98	0·92	1·28	1·15
$\frac{\Delta\nu}{\nu}$	0·217	0·111	0·215	0·178
$\frac{\mu}{\nu}$	0·070	0·036	0·066	0·045

Für Porer resultiert die größte mittlere Windgeschwindigkeit und die kleinste Schwankung. Wenn auch zur Ableitung dieser Mittelwerte der vier Stationen ganz verschiedene Beobachtungsreihen zur Verfügung standen, so ergibt sich doch, daß der Zunahme der mittleren Geschwindigkeit eine Abnahme der täglichen Schwankung entspricht, wenn die letztere durch die drei Quotienten, Max. : Min., Amplitude : mittlere Geschwindigkeit oder mittlere Ordinate : Mittel der Geschwindigkeit dargestellt wird.

---

[1] E. Mazelle, Untersuchungen über den täglichen und jährlichen Gang der Windgeschwindigkeit zu Triest, Sitzungsberichte der Akad. d. Wiss. Wien, Bd. 104, Abt. IIa, 1891, S. 1369.

J. v. Hann, Der tägliche und jährliche Gang der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung auf der Insel Lesina, Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie, Berlin, 16. Jahrg., 1888, S. 33.

E. Mazelle, Die tägliche Periode der Windrichtung und Windstärke auf der Klippe Porer, Denkschriften der Akad. d. Wiss. Wien, Bd. 87, 1911, S. 395.

[2] G. Hellmann, Auszug aus den Sitzungsberichten der preuß. Akad. d. Wfss., 1917, in der Meteorolog. Zeitschrift Wien, 1917, Heft 8/9, S. 274.

Die für diese vier Orte berechneten Gleichungen des täglichen Ganges der mittleren Geschwindigkeit ergeben nachfolgende Amplituden und Phasenzeiten der drei Glieder der periodischen Reihen:

	Amplituden			Phasenzeiten		
	1. Glied	2. Glied	3. Glied	1. Glied	2. Glied	3. Glied
Triest	1·46	0·47	0·03	284°	104°	170°
Porer	1·37	0·26	0·23	18°	173°	8°
Lesina	1·96	0·42	0·19	244°	66°	106°
Pelagosa	1·76	0·86	0·15	118°	240°	312°

Beim 1. Glied, bei der einfachen Tagesschwankung, wird das Maximum in Triest bei Berücksichtigung der Winkelgröße von 284° für 1^h a. um 12^h mittags stattfinden, positive Ordinaten sind daher von 7^h a. bis 6^h p. zu entnehmen. In Lesina bei 244° für 1^h a. fallen die positiven Ordinaten auch während des Tages, von 9^h a. bis 8^h p., mit dem Maximum um 3^h p. Die Verschiebung beträgt nur rund 3 Stunden, genauer 2·7 Stunden. In Porer resultieren hingegen positive Ordinaten von 12^h nachts bis 11^h vormittags, mit dem Maximum um 6^h früh, da die Winkelgröße für 1^h a. 18° beträgt. Die Verschiebung der einfachen Gangkurve Porer gegen Triest ist demnach mit 6·3 Stunden anzunehmen, gegen Lesina mit 8·9 Stunden.

Für Pelagosa zeigt das 1. Glied im Vergleiche zu Triest einen fast genau entgegengesetzten Gang. Die einfache Sinuskurve hat positive Ordinaten von 6^h p. bis 5^h a., also nachts über, und erreicht das Maximum um 11^h p. Der Phasenunterschied erreicht entsprechend der Winkeldifferenz zwischen 284° und 118° den Betrag von 11·1 Stunden, gegen Lesina beträgt dieser Unterschied 8·4 Stunden.

Die Amplituden der ersten Glieder sind auf Lesina und Pelagosa größer als in Triest und Porer. Im Vergleiche zur mittleren Geschwindigkeit geben die Amplituden des 1. Gliedes in Triest und Lesina nahezu den gleichen Quotienten, 0·11 beziehungsweise 0·10; Porer und Pelagosa geben einen kleineren Quotienten, 0·05 und 0·07.

Es entspricht daher der Verlauf der Partialperiode des 1. Gliedes dem früher besprochenen täglichen Gang der mittleren Windgeschwindigkeit, welche Übereinstimmung natürlich durch die überwiegende Größe der Amplitude dieses Gliedes bedingt wird. Das Verhältnis zwischen der Amplitude des 2. und 1. Gliedes resultiert bei Porer und Lesina mit 0·19 beziehungsweise 0·21, bei Triest mit 0·32 und bei Pelagosa mit 0·49. Die Amplituden des 3 Gliedes sind noch kleiner; ihr Verhältnis zu den Amplituden des 1. Gliedes bewegt sich bei diesen vier Stationen zwischen 0·02 und 0·17.

Auch bei der halbtägigen Schwankung zeigen die Phasenzeiten einerseits zwischen Triest und Lesina, andrerseits zwischen Porer und Pelagosa verhältnismäßig geringe Unterschiede. Zwischen Triest und Lesina beträgt die Differenz 38°, das sind 1·3 Stunden. Die Maxima werden bei der halbtägigen Partialperiode in Triest um 1^h, in Lesina um 2^h vor- und nachmittags erreicht. Der Unterschied zwischen Porer und Pelagosa beträgt 67°, das sind 2·2 Stunden; die Maxima in der Doppelschwankung fallen in Porer auf 10^h a. und 10^h p.; in Pelagosa auf 8^h vor- und nachmittags.

Der Verlauf der halbtägigen Partialperiode ist auf Pelagosa fast genau entgegengesetzt dem bei Lesina; die Phasenzeiten differieren um 174°, das sind um 5·8 Stunden. Gegenüber Triest beträgt der Unterschied 136°, daher 4·5 Stunden.

Auch die Phasenzeiten des 3. Gliedes zeigen das gleiche Verhalten. Zwischen Triest und Lesina ist eine Winkeldifferenz von 64° zu ersehen, was einem Zeitunterschied von 1·4 Stunden entspricht; Pelagosa und Porer variieren untereinander um 56°, also um 1·2 Stunden. Auch die Partialperiode nach dem 3. Gliede ist auf Pelagosa fast genau entgegengesetzt der in Triest und Lesina, die Winkeldifferenz beträgt 142° beziehungsweise 206°, daher 3·2 beziehungsweise 4·6 Stunden.

Der früher hervorgehobene entgegengesetzte Verlauf der täglichen Periode der Windgeschwindigkeit auf Pelagosa im Vergleich zu dem täglichen Gang in Triest zeigt sich daher bei allen drei Partialperioden, am besten bei der einfachen Tagesschwankung, welcher auch die größere Amplitude zukommt.

Die doppelte und dreifache Schwankung zeigen eine bessere Übereinstimmung mit den entgegengesetzten Phasenzeiten der Partialperioden von Lesina.

Mit dieser sehr kurzen Beobachtungsreihe wurde auch der Versuch gemacht, die jährliche Periode der Windgeschwindigkeit zu bestimmen.

Nach den Jahreszeitmitteln aus Tabelle 1

Winter	Frühling	Sommer	Herbst
27·9	27·1	22·3	25·4

resultiert das Maximum im Winter mit 27·9, das Minimum im Sommer mit 22·3 *km* pro Stunde.

Die aus nachfolgenden Monatsmitteln

Jänner	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
26·7	29·3	30·3	23·8	27·2	22·2	22·7	21·9	22·9	24·5	28·9	27·8	25·7

berechnete Sinusreihe und der daraus abgeleitete jährliche Gang sind:

$$y = 25\cdot 68 + 3\cdot 410 \sin(75° \, 28' + x.30°) + 0\cdot 421 \sin(125° \, 37' + x.60°) + 0\cdot 947 \sin(296° \, 8' + x.90°)$$

wobei $a_1 = 3\cdot 301$, $a_2 = 0\cdot 342$, $a_3 = -0\cdot 850$
$b_1 = 0\cdot 856$, $b_2 = -0\cdot 245$, $b_3 = 0\cdot 417$

Jänner	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
28·47	**29·34**	28·54	25·78	23·96	24·05	23·57	21·94*	22·05	24·90	27·48	28·08
2·79	**3·66**	2·86	0·10	−1·72	−1·63	−2·11	−3·74*	−3·63	−0·78	1·80	2·40

Diese Werte zeigen eine einfache Periode. Das Maximum fällt auf den Februar, das Minimum Ende August. Die Monate November bis einschließlich April zeigen größere Mittelwerte, die Monate Mai bis inklusive Oktober kleinere als das Jahresmittel. Die periodische Amplitude resultiert mit 7·40, der Quotient zwischen dem Februar- und Augustmittel mit 1·34.

Vergleiche mit dem jährlichen Gang von Triest, Lesina und Porer ergeben, daß Triest, Porer und Pelagosa eine ähnliche einfache Jahresschwankung zeigen. In Triest und Porer fällt das Maximum auf den Jänner, das Minimum ist in Triest im Juni, in Porer im Juli zu entnehmen. Die jährliche Schwankung ist auf Pelagosa bedeutend kleiner, da dieselbe bei Porer mit einer Amplitude von 13«85, in Triest mit 10·54 und mit einem Quotienten von 1·76 beziehungsweise 2·10 resultiert. In Lesina ist hingegen eine Doppelschwankung ersichtlich, mit den Maxima im April und November und den Minima im Februar und August.

Aus den für die jährliche Periode bestimmten Gleichungen lassen sich nachfolgende Amplituden und Phasenzeiten entnehmen:

	Amplituden			Phasenzeiten		
	1. Glied	2. Glied	3. Glied	1. Glied	2. Glied	3. Glied
Triest	4·77	1·23	0·60	102°	49°	44°
Porer	6·45	0·65	1·20	96°	317°	26°
Lesina	2·77	2·41	0·49	67°	242°	196°
Pelagosa	3·41	0·42	0·95	75°	126°	296°

Die Amplitude der halbjährigen Schwankung auf Lesina ist nur um einen geringen Betrag kleiner als die der ganzjährigen, 2·4 gegen 2·8, während in allen drei anderen Orten dieselbe bedeutend kleiner erscheint. Das Verhältnis zwischen der Amplitude des 2. und des 1. Gliedes resultiert bei Triest mit 0·26, bei Porer mit 0·10, bei Pelagosa mit 0·12, bei Lesina hingegen mit 0·87. Die Phasenzeiten der ganzjährigen Schwankung zeigen hingegen verhältnismäßig geringe Unterschiede untereinander; Pelagosa differiert gegen Triest beziehungsweise Porer und Lesina um 27°, 21° und 8°, das ist um 0·9, 0·7 und 0·3 Monaten.

Tägliche Periode bei stürmischer Windgeschwindigkeit.

Sturmtage ohne Rücksicht auf die Windrichtung. Es sollen die vorliegenden Beobachtungen herangezogen werden, um auch die tägliche Periode bei stürmischen Windgeschwindigkeiten abzuleiten. Hierzu werden vorerst ohne Rücksicht auf die Windrichtung jene Tage berücksichtigt, an denen die Tagesmittel der Windgeschwindigkeit mindestens 50 *km* pro Stunde erreichten. In den ersten zwei Monaten Juli und August 1912 kamen solche Sturmtage nicht vor, so daß die hier benützte Reihe eigentlich mit September 1912 beginnt und mit August 1914 endet, demnach zwei volle Jahre umfaßt.

Für diesen Zeitraum konnten 42 solcher Sturmtage herangezogen werden. Ihre Frequenzverteilung auf die einzelnen Monate und Jahreszeiten ist nachfolgende:

Häufigkeit stürmischer Tage.

Tagesmittel der Windgeschwindigkeit $\gtrless$ 50 *km*/St., 2 Jahre.

Jänner	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1	9	8	2	5	0	1	1	2	1	6	6

Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
16	15	2	9	31	11	42

Solche Sturmtage sind auf Pelagosa am häufigsten im Winter, selten im Sommer. In diesen zwei Jahren war die Frequenz im Frühling nahezu so groß wie im Winter, im Herbst jedoch kleiner. Von den 42 Sturmtagen fielen 38% auf den Winter und 36% auf den Frühling, auf den Herbst 21% und auf den Sommer nur 5%.

Wollen wir einen Vergleich anstellen mit den seinerzeit für Porer abgeleiteten Werten, wobei jedoch ausdrücklich hervorgehoben werden soll, daß für Pelagosa derzeit nur zwei Jahrgänge kontinuierlicher Aufzeichnungen vorliegen, so ergeben sich, für beide Orte die Frequenz solcher Sturmtage prozentuell zur Anzahl sämtlicher Tage des zur Verfügung gestandenen Zeitraumes ausgedrückt, nachfolgende Größen:

Prozentuelle Frequenz stürmischer Tage.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
Pelagosa	9	8	1	5	9	3	6
Porer	18	5	2 (1·5)	9	13	3	8

Auf je 100 Tage kommen demnach bei Pelagosa im Winter 9 Tage anhaltender Stürme vor, im Sommer nur 1 Tag. Im Winterhalbjahr dreimal so viele als im Sommerhalbjahr. In einem Jahre sind unter 100 Tagen 6 Sturmtage zu entnehmen.

In Porer ist die Anzahl der Sturmtage im Jahr und im Winterhalbjahr größer als auf Pelagosa. Nach den Jahreszeiten getrennt kommen im Winter und Herbst in Porer fast doppelt so viele Sturmtage vor als auf Pelagosa. Im Frühling ist hingegen die Frequenz dieser Sturmtage in Pelagosa größer, 8 gegen 5 unter 100 Tagen.

Die stündlichen Windwege dieser Sturmtage wurden nach Monaten vereinigt und werden in der Anhangtabelle II, behufs eventueller späterer Fortsetzung dieser Untersuchung nach Wiederaufnahme der Beobachtungen hier mitgeteilt. Aus diesen Reihen wurden die Stundenwerte für die einzelnen Jahreszeiten und das Jahr ermittelt. Die Ergebnisse finden sich nach Ausscheidung der unperiodischen Änderungen in der Tabelle 3.

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man, daß bei stürmischen Windgeschwindigkeiten eine doppelte tägliche Periode resultiert. Im Jahresmittel zeigt sich das Maximum um 10^h vormittags, das zweite Maximum um 7^h abends. Diese Doppelschwankung ist auch bei den einzelnen Jahreszeiten ersichtlich, mit Ausnahme des Frühlings, wo das Abendmaximum nicht zum Ausdruck kommt.

Tabelle 3.

Täglicher Gang der Windgeschwindigkeit an Sturmtagen

nach Ausscheidung der unperiodischen Änderungen.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
1h a.	62·1	53·6	51·2	53·5	57·5	54·3	56·6
2	62·4	53·0	48·4*	54·7	57·6	54·2	56·7
3	63·0	54·9	52·6	53·1	57·4	57·5	57·4
4	64·6	57·5	52·8	54·9	59·4	59·4	59·4
5	65·5	60·3	53·5	56·4	62·2	57·9	61·0
6	67·9	59·0	57·7	53·5	62·4	57·7	61·1
7	**71·8**	64·4	55·9	53·6	66·6	58·6	64·4
8	69·5	65·9	52·1	56·2	**66·8**	58·1	64·5
9	68·2	65·2	**61·8**	56·1	65·0	61·9	64·2
10	71·0	**66·1**	55·0	58·5	66·3	**64·5**	**65·8**
11	64·3	64·4	54·2*	56·9	62·6	61·2	62·3
12	61·8	63·6	55·0	**59·6**	61·5	61·8	61·6
1h p.	59·5	61·0	54·8	57·0	58·5	61·8	59·3
2	60·1	60·1	60·0	55·1	57·5	63·5	59·0
3	58·3	60·1	57·7	51·9*	55·7	62·8	57·5
4	56·8*	56·7	56·4	53·1	53·4*	63·2	56·0*
5	61·2	57·8	56·1	62·9	59·2	62·7	60·2
6	65·4	56·9	59·8	64·6	62·1	61·4	61·9
7	**68·2**	55·7	57·5	**64·7**	**62·9**	61·4	**62·6**
8	62·7	55·9	64·2	62·2	59·4	62·6	60·3
9	58·6	55·0	**64·9**	55·9	55·1	62·5	57·1
10	58·2	53·9	61·1	53·1	54·7	58·6	55·7
11	55·8*	50·4	56·3	51·7	52·5*	54·5	53·1
12	57·9	47·6*	53·0	51·5*	52·7	52·4*	52·7*
Mittel	63·1	58·3	56·3	56·3	59·5	59·8	59·6

Aus den Jahresstundenmitteln konnte nachfolgende harmonische Reihe zur Darstellung des periodischen Verlaufes der Windgeschwindigkeit in Pelagosa an stürmischen Tagen abgeleitet werden:

$$y = 59\cdot60 + 3\cdot449 \sin(312^\circ\, 0' + x.15^\circ) + 2\cdot777 \sin(258^\circ\, 12' + x.30^\circ) + 1\cdot626 \sin(11^\circ\, 41' + x.45^\circ)$$

wobei $a_1 = -2\cdot563$ $a_2 = -2\cdot718$ $a_3 = 0\cdot329$

$b_1 = 2\cdot308$ $b_2 = -0\cdot568$ $b_3 = 1\cdot592$

Der darnach berechnete tägliche Gang ist der nachfolgende:

Täglicher Gang der Windgeschwindigkeit an stürmischen Tagen.

Kilometer pro Stunde.

1h a.	54·65	—4·95	1h p.	59·12	—0·48
2	56·44	—3·16	2	57·48	—2·12
3	58·28	—1·32	3	57·22*	—2·38*
4	59·74	0·14	4	58·32	—1·28
5	60·86	1·26	5	60·08	0·48
6	61·88	2·28	6	61·46	1·86
7	63·03	3·43	7	**61·60**	**2·00**
8	64·24	4·64	8	60·24	0·64
9	**65·06**	**5·46**	9	57·84	—1·76
10	64·97	5·37	10	55·36	—4·24
11	63·70	4·10	11	53·77	—5·83
12	61·50	1·90	12	53·56*	—6·04*
			Mittel	59·60	2·30

Die Gangkurve bleibt über dem Mittelwert in den Zeiträumen vor 4^h morgens bis gegen 1^h nachmittags und vor 5^h nachmittags bis nach 8^h abends. Die größten Werte werden erreicht um 9^h früh und 7^h abends, die kleinsten um 3^h nachmittags und um Mitternacht. Die Extreme sind nachts und vormittags stärker ausgeprägt.

Vergleichen wir diese tägliche Periode mit der aus sämtlichen Windbeobachtungen abgeleiteten, so zeigt sich an stürmischen Tagen ein ganz verschiedener Verlauf als bei den allgemeinen Mittelwerten. Bei diesen sind die Windgeschwindigkeiten nachtsüber größer, tagsüber kleiner, während bei der an Sturmtagen auftretenden Doppelschwankung gerade nachtsüber die Windstärke kleiner wird.

Die mittlere Geschwindigkeit der hier zur Verfügung stehenden Sturmtage ist mehr als doppelt so groß als die sämtlicher Beobachtungen. Die periodische Schwankung ist an Sturmtagen größer als im allgemeinen Mittel, wie aus dem Vergleiche der nachfolgenden Werte mit den im früheren Abschnitt gefundenen hervorgeht.

ν	59·60
$\Delta\nu$	11·50
Max. : Min.	1·21
μ	2·80
$\frac{\Delta\nu}{\nu}$	0·193
$\frac{\mu}{\nu}$	0·047

Sowohl die Amplitude, als auch die mittlere Ordinate der täglichen Gangkurve sind mehr als zweimal so groß (2·5 und 2·4 mal). Die Quotienten ergeben hingegen unbedeutende Unterschiede, eher noch das Verhältnis zwischen der Amplitude und dem Mittel der Windgeschwindigkeit; das Verhältnis zwischen den Extremen, wie auch das der mittleren Ordinate zum Geschwindigkeitsmittel sind in beiden Fällen fast gleich groß.

Vergleichen wir die hier für Pelagosa bestimmte tägliche Periode stürmischer Tage mit der für Porer[1] veröffentlichten, so ersehen wir eine gewisse Ähnlichkeit. Auch zu Porer ist das Hauptmaximum vormittags, allerdings etwas später (11^h a.) und das Hauptminimum um Mitternacht wie hier in Pelagosa. Die Nachmittagsextreme sind in Porer schwächer ausgeprägt, mit dem Minimum um 5^h p. und dem Maximum um 7^h p.

Die für Porer berechnete Sinusgleichung für den täglichen Gang an stürmischen Tagen lautet:

$$y = 62·65 + 4·571 \sin(302° 15' + x.15°) + 1·308 \sin(222° 5' + x.30°) + 0·920 \sin(326° 48' + x.45°).$$

Vergleichen wir die Partialperioden auf Pelagosa und Porer, so ist zu ersehen. daß in Pelagosa die Amplitude der ganztägigen Schwankung kleiner ist als zu Porer (0·8 mal, 3·45 gegen 4·57), während die halbtägige Schwankung in Pelagosa mehr als doppelt so groß ist (2·1 mal, 2·78 gegen 1·31). Auch die Amplitude des 3. Gliedes ist auf Pelagosa fast doppelt so groß als zu Porer (1·8 mal, 1·63 gegen 0·92).

Dasselbe Ergebnis resultiert aus dem Verhältnis der Amplitude der Partialperiode zum Mittelwert der Windgeschwindigkeit, wie aus den nachfolgenden Verhältniszahlen ersichtlich ist:

	Pelagosa	Porer
Amplitude der einfachen Periode zum Mittel der Windgeschwindigkeit:	0·058	0·073
Amplitude der doppelten Periode zum Mittel der Windgeschwindigkeit:	0·047	0·021

Die Schwankungen des aus den Partialperioden resultierenden Ganges sind bei beiden Orten nahezu gleich groß, wie aus den nachfolgenden Werten für Porer im Vergleich zu den oben für Pelagosa angeführten hervorgeht:

$$\Delta\nu = 11·28,\ \text{Max.} : \text{Min.} = 1·20,\ \mu = 2·86,\ \frac{\Delta\nu}{\nu} = 0·180,\ \frac{\mu}{\nu} = 0·046.$$

[1] L. c. p. 399.

Die Phasenzeiten aller drei Glieder geben für Pelagosa eine Verfrühung, für die einfache Schwankung um 39 Minuten, für die Doppelschwankung 1 Stunde 12 Minuten und für die dreifache Schwankung 1 Stunde, da die Winkelgrößen bei den drei Sinusgliedern um 9° 45′, 36° 7′ und 44° 53′ größer sind.

Sturmtage nach den Hauptwindrichtungen getrennt. Da vorauszusetzen ist, daß die tägliche Periode je nach den Windrichtungen bestimmte Unterschiede aufweisen dürfte, wurden die Sturmtage nach den für die Adria charakteristischen Stürmen getrennt, und zwar nach Bora-, Scirocco-, SW- und NW-Stürmen.

In Berücksichtigung der kurzen Beobachtungsreihe wurden hier als Sturmtage jene betrachtet, an welchen das Maximum der Geschwindigkeit 50 *km* pro Stunde erreichte. Ihre Einteilung in einen der vier Quadranten erfolgte nur dann, wenn die diesbezüglichen Windrichtungen durch alle 24 Stunden des Tages, von Mitternacht bis Mitternacht, anhielten. Nur in vereinzelten Fällen wurden auch solche Tage mitberücksichtigt, an welchen benachbarte Windrichtungen in der einen oder der anderen Stunde zur Aufzeichnung gelangten, wobei aber Bedacht genommen wurde, daß im weitaus überwiegenden Teil des Tages nicht nur die Windrichtung im betreffenden Quadranten blieb, sondern auch am vorhergehenden oder nachfolgenden Tag die Windrichtungen des in Betracht kommenden Quadranten vorherrschten.

Es kamen auch einige Tage vor, an welchen die Windrichtung fast durchwegs aus Süden kam und nur durch eine oder die andere Stunde die Windrichtung gegen SE beziehungsweise SW drehte. Solche Fälle wurden, je nach der Links- oder Rechtsdrehung den Südost- beziehungsweise den Südweststürmen zugerechnet.

Da die Beobachtungen jedenfalls ihre Fortsetzung finden werden, wurden zur Erleichterung eines künftigen Anschlusses der neuen Beobachtungsreihe die erhaltenen Windwege dieser stürmischen Tage nach Monaten und Stunden für diese erste Beobachtungsperiode, Juli 1912 bis inklusive August 1914, im Anhang tabellarisch zusammengestellt, Tabelle III bis VI.

Diese Windwege wurden nach den vier Jahreszeiten, wie auch für das Winter- und Sommerhalbjahr und das Jahr vereinigt, ihre Stundenmittelwerte abgeleitet und dieselben von den unperiodischen Änderungen befreit. Der danach bestimmte tägliche Gang der Windgeschwindigkeit findet sich in den folgenden Tabellen 4, 5, 6 und 7.

Tabelle 4.

Täglicher Gang der Windgeschwindigkeit bei stürmischer Bora

nach Ausscheidung der unperiodischen Änderungen.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
1h a.	54·5	46·0	.	40·9	49·5	36·8*	48·1
2	53·0	48·2	.	39·3	47·7	42·2	47·1
3	54·8	44·5	.	38·3	47·0	47·2	47·1
4	54·3	49·9	.	37·8	45·8	**58·8**	47·4
5	54·7	50·1	.	38·2	46·7	55·2	47·8
6	54·9	43·9*	.	38·3	46·4	51·5	47·1
7	56·4	47·9	.	40·3	48·2	54·6	49·0
8	53·6	**53·0**	.	38·1	46·9	52·9	47·6
9	54·9	50·8	.	35·1	45·9	53·2	46·9
10	55·7	43·8	.	36·3	46·4	48·1	46·6
11	51·8	45·4	.	31·7*	42·3	50·4	43·2
12	49·4	48·0	.	32·2	41·5*	51·0	42·6

Tabelle 4 (Fortsetzung).

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
1h p.	49·9	44·4	.	33·9	41·6	52·9	42·9
2	49·6	41·8*	.	34·3	42·0	47·2	42·5
3	49·0*	46·0	.	32·9	42·3	43·1	42·3*
4	49·3	45·0	.	34·3	42·9	42·9	42·8
5	52·3	47·3	.	34·5	44·8	44·7	44·7
6	56·5	**52·7**	.	35·9	48·3	46·5	48·0
7	58·3	50·5	.	39·0	49·8	49·4	49·6
8	57·1	51·1	.	41·3	50·7	46·5	50·1
9	54·9	48·5	.	42·8	49·7	46·3	49·2
10	**58·6**	47·2	.	41·3	**50·9**	46·1	**50·2**
11	55·3	47·0	.	**43·1**	50·1	44·7	49·4
12	51·8	47·0	.	42·0	48·0	42·8	47·3
Mittel	53·8	47·5	.	37·6	46·5	48·1	46·6

Tabelle 5.

Täglicher Gang der Windgeschwindigkeit bei stürmischem Scirocco

nach Ausscheidung der unperiodischen Änderungen.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
1h a.	41·0	41·7	27·3	30·8*	37·0	38·3	37·6
2	40·7	43·5	22·4	33·4	38·1	39·3	38·7
3	39·0*	41·1	16·0*	32·7	36·9	35·9	36·4
4	42·5	43·3	18·8	35·5	38·8	39·4	39·1
5	40·1	46·1	20·0	37·1	39·1	42·1	40·5
6	46·0	46·0	23·9	34·2	39·4	43·0	41·1
7	47·4	48·2	28·7	35·9	41·7	45·1	43·3
8	50·3	48·0	32·6	38·5	45·1	44·4	44·7
9	52·5	47·8	36·4	35·7	43·8	45·8	44·8
10	**55·9**	48·5	38·0	37·7	46·3	46·4	46·3
11	54·7	**49·1**	35·4	**39·8**	**46·9**	46·4	**46·6**
12	50·5	47·6	**38·3**	37·0	44·0	45·4	44·7
1h p.	54·5	46·8	33·2*	36·6	44·6	44·2	44·5
2	49·9	46·1	36·0	36·9	42·7	44·6	43·7
3	48·3	45·9	37·3	34·7*	41·4	44·2	42·7*
4	45·0	47·1	41·4	37·7	40·9*	**47·0**	43·9
5	44·3	48·1	41·3	40·1	42·8	46·8	44·8
6	43·7*	48·1	41·4	40·3	43·2	46·4	44·8
7	45·1	45·6*	**44·0**	**41·8**	43·7	44·9	44·4
8	47·5	**48·6**	42·9	39·0	**44·1**	46·9	**45·5**
9	**51·5**	46·6	42·4	37·9	44·1	46·0	45·0
10	48·9	43·9	36·9	38·2	42·7	42·8	42·7
11	44·0	42·3	28·7	36·4	39·7	40·1	39·9
12	40·9	37·7*	26·6	31·1	35·8*	35·6*	35·6*
Mittel	46·8	45·7	32·9	36·6	41·8	43·4	42·6

Tabelle 6.

Täglicher Gang der Windgeschwindigkeit bei stürmischem Südwest

nach Ausscheidung der unperiodischen Änderungen.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
1^h a.	42·8	46·6	.	35·5	42·5	37·8	41·8
2	42·6*	47·4	.	37·4	43·1	39·8	42·5
3	44·8	46·3	.	34·9	43·3	35·9	42·1
4	46·1	47·0	.	31·2	42·9	34·6	41·6
5	44·4	46·9	.	30·4	43·5	26·4	40·7
6	45·0	48·4	.	25·6*	43·4	22·1*	39·8*
7	49·9	**51·1**	.	29·2	47·1	25·8	43·5
8	49·8	49·7	.	33·7	48·7	23·6	44·6
9	47·4	50·3	.	36·8	49·3	23·0	45·0
10	52·1	48·7	.	**39·8**	**51·6**	23·2	**46·9**
11	52·1	48·2	.	38·5	51·1	22·1*	46·3
12	**53·4**	46·4	.	35·8	49·1	25·3	45·2
1^h p.	52·0	42·3	.	35·5	46·2	27·1	43·3
2	49·0*	39·3	.	34·8	43·2	28·8	41·0
3	49·2	36·8	.	34·6*	41·8	31·2	40·1
4	49·2	33·0*	.	36·6	40·6*	32·8	39·4*
5	52·2	38·2	.	36·5	43·4	35·5	42·2
6	56·1	40·1	.	38·6	46·6	35·2	44·8
7	**60·2**	40·9	.	39·0	**49·0**	33·5	**46·6**
8	55·8	40·1	.	**42·6**	48·9	31·0	46·0
9	50·5	42·8	.	38·8	45·8	34·9	44·0
10	47·9	44·9	.	34·2	43·8	35·5	42·5
11	47·7	**45·9**	.	34·0	43·3	**39·4**	42·6
12	44·8	44·0*	.	35·7	42·1*	38·8	41·6
Mittel	49·4	44·4	.	35·4	45·4	31·0	43·1

Tabelle 7.

Täglicher Gang der Windgeschwindigkeit bei stürmischem Nordwest

nach Ausscheidung der unperiodischen Änderungen.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
1^h a.	35·0	56·4	38·6	37·5	36·2	42·9	40·8
2	39·5	53·4	36·8*	34·2	37·5	40·4	39·4
3	42·2	50·1	38·0	34·0	38·0	40·8	39·9
4	41·8	47·3	40·8	35·3	39·0	42·1	41·1
5	**46·7**	47·6	40·0	35·5	41·4	41·5	41·5
6	45·5	42·5*	41·4	35·6	39·3	42·1	41·2
7	45·9	44·2	41·9	34·0	39·1	42·7	41·5
8	42·2	44·3	40·0	37·2	39·7	40·9	40·6
9	42·3	45·9	41·5	37·8	40·7	42·1	41·6
10	45·4	52·9	40·3	38·7	**43·6**	42·4	42·9
11	43·9	49·7	39·1	38·9	42·9	40·7	41·6
12	43·9	52·7	38·3	42·0	42·6	41·9	42·2

Tabelle 7 (Fortsetzung).

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr	Jahr
1h p.	41·7	56·5	40·0	40·7	41·4	43·9	42·9
2	44·6	**57·8**	40·9	**42·6**	42·9	45·4	44·5
3	42·5	56·1	44·5	41·3	41·6	47·4	45·4
4	41·2	54·0	**46·1**	42·5	42·3	**47·9**	**45·8**
5	39·5	55·1	45·4	40·9	40·6	47·5	45·1
6	38·3	52·0	45·5	40·6	39·1	47·4	44·5
7	38·5	55·6	44·4	39·6	40·1	46·6	44·4
8	37·2	56·4	44·5	36·6	39·2	46·1	43·7
9	36·7	57·8	43·0	33·3	38·2	44·9	42·5
10	34·0	50·1	40·7	32·2	33·1	42·9	39·5
11	32·7	50·0	38·5	33·2	33·8	40·8	38·3
12	32·2*	51·5	37·2	30·9*	32·8*	40·0*	37·6*
Mittel	40·6	51·7	41·1	37·3	39·4	43·4	42·0

Bevor zu einer Diskussion des täglichen Ganges der Windgeschwindigkeit bei den verschiedenen Stürmen übergegangen werden soll, werden für diese Sturmtage ihre Häufigkeit nach Monaten und Jahreszeiten vereinigt in der nachfolgenden Übersicht zusammengestellt.

Anzahl der Sturmtage.

2 Jahre, September 1912 bis einschließlich August 1914.

	NE	SE	SW	NW	Summe
Jänner	2	2	3	5	12
Februar	9	4	3	1	17
März	3	3	10	3	19
April	1	6	1	0	8
Mai	1	7	2	4	14
Juni	0	1	0	6	7
Juli	0	0	0	9	9
August	0	1	0	7	8
September	2	0	3	3	8
Oktober	5	5	4	2	16
November	6	3	5	3	17
Dezember	5	0	6	1	12
Winter	16	6	12	7	41
Frühling	5	16	13	7	41
Sommer	0	2	0	22	24
Herbst	13	8	12	8	41
Winterhalbjahr	30	17	31	15	93
Sommerhalbjahr	4	15	6	29	54
Jahr	34	32	37	44	147

Hierbei wurden nur zwei volle Jahrgänge in Betracht gezogen; die zwei ersten Monate Juli und August 1912 wurden weggelassen, die nur einen Sturmtag, und zwar aus SE im Juli aufweisen. Auch in den Jahren 1913 und 1914 ist in diesen Monaten nur ein stürmischer Sciroccotag, und zwar im August 1913 zu entnehmen. Das vollständige Fehlen von NE- und SW-Stürmen im Juli und August 1912 wiederholt sich auch in den zwei folgenden Jahren 1913 und 1914. Nur für die Stürme aus NW

zeigen der Juli und August 1912 eine Abweichung, da im Jahre 1913 im Juli 5, im August 4 Tage und im Jahre 1914 4 beziehungsweise 3 Tage mit NW-Stürmen vorkamen.

Aus dieser Zusammenstellung ist zu ersehen, daß in diesem zweijährigen Zeitraume 147 Sturmtage mit einer durch einen vollen Tag anhaltenden gleichen Windrichtung zu entnehmen sind. Bora und Scirocco kommen durchschnittlich fast gleich oft vor, Bora mit 23%, Scirocco mit 22% sämtlicher Fälle. Der SW-Richtung kommen 25% zu, während die größte Häufigkeit für NW-Stürme zu finden ist, mit 30% aller Fälle.

Nach Jahreszeiten getrennt ist zu entnehmen, daß im Winter volle 24 Stunden anhaltende Borastürme am häufigsten sind, der Frequenz nach kommen dann die SW-Stürme. Dieselbe Verteilung ist für den Herbst zu ersehen. Im Frühjahr erreichen die SW- und die Sciroccostürme eine größere Frequenz, im Sommer sind hingegen die NW-Stürme die überwiegend häufigsten, 22 unter 24 Sturmtagen.

Wird die Trennung nur nach dem Winter- und Sommerhalbjahr vorgenommen, so wäre hervorzuheben, daß im Winterhalbjahr am häufigsten NE- und SW-Stürme vorkommen, mit 32% beziehungsweise 33% sämtlicher Fälle. Im Sommerhalbjahr sind hingegen die NW-Stürme mit 54% die vorwiegendsten, doch erreichen auch die SE-Stürme noch eine Häufigkeit von 28% aller Fälle dieser Jahreshälfte.

Betrachten wir die Häufigkeitsgrößen nach den einzelnen Quadranten getrennt, so ersieht man, daß anhaltende Borastürme in den Sommermonaten Juni, Juli und August nicht vorkommen. Am häufigsten kommen dieselben im Winter und Herbst vor, mit 47 beziehungsweise 38% sämtlicher Fälle. Sciroccostürme sind am häufigsten im Frühling, mit 50%. SW-Stürme kommen im Sommer gar nicht vor, ihre Frequenz ist im Winter, Frühling und Herbst nahezu gleich groß, 32 bis 35%. NW-Stürme durch einen vollen Tag sind am häufigsten im Sommer, 50% aller NW-Stürme.

Gehen wir nun zu einer Diskussion der täglichen Periode der einzelnen Stürme über, wobei in Berücksichtigung der kurzen Beobachtungsreihe derzeit nur die Jahresmittelwerte herangezogen werden. Aus den in den Tabellen 4 bis 7 enthaltenen Stundenmitteln wurden die nachfolgenden vier Sinusgleichungen abgeleitet, aus welchen der in Tabelle 8 mitgeteilte tägliche Gang berechnet werden konnte.

Periodische Funktionen für den täglichen Gang der Windgeschwindigkeit bei stürmischer Bora:

$$y = 46 \cdot 65 + 2 \cdot 731 \sin(95^\circ\, 38' + x.15^\circ) + 2 \cdot 200 \sin(238^\circ\, 7' + x.30^\circ) + 0 \cdot 193 \sin(346^\circ\, 11' + x.45^\circ)$$

$$a_1 = 2 \cdot 718 \qquad a_2 = -1 \cdot 868 \qquad a_3 = -0 \cdot 046$$
$$b_1 = -0 \cdot 268 \qquad b_2 = -1 \cdot 162 \qquad b_3 = 0 \cdot 187$$

Bei stürmischem Scirocco:

$$y = 42 \cdot 55 + 3 \cdot 458 \sin(257^\circ\, 35' + x.15^\circ) + 2 \cdot 334 \sin(231^\circ\, 36' + x.30^\circ) + 0 \cdot 688 \sin(324^\circ\, 39' + x.45^\circ)$$

$$a_1 = -3 \cdot 337 \qquad a_2 = -1 \cdot 829 \qquad a_3 = -0 \cdot 398$$
$$b_1 = -0 \cdot 743 \qquad b_2 = -1 \cdot 450 \qquad b_3 = 0 \cdot 561$$

Bei stürmischem SW:

$$y = 43 \cdot 09 + 0 \cdot 732 \sin(264^\circ\, 16' + x.15^\circ) + 2 \cdot 165 \sin(201^\circ\, 46' + x.30^\circ) + 1 \cdot 825 \sin(9^\circ\, 30' + x.45^\circ)$$

$$a_1 = -0 \cdot 728 \qquad a_2 = -0 \cdot 803 \qquad a_3 = 0 \cdot 301$$
$$b_1 = -0 \cdot 073 \qquad b_2 = -2 \cdot 011 \qquad b_3 = 1 \cdot 800$$

Bei stürmischem NW:

$$y = 42 \cdot 02 + 2 \cdot 521 \sin(240^\circ\, 1' + x.15^\circ) + 1 \cdot 401 \sin(323^\circ\, 53' + x.30^\circ) + 0 \cdot 331 \sin(354^\circ\, 16' + x.45^\circ)$$

$$a_1 = -2 \cdot 184 \qquad a_2 = -0 \cdot 826 \qquad a_3 = -0 \cdot 033$$
$$b_1 = -1 \cdot 260 \qquad b_2 = 1 \cdot 132 \qquad b_3 = 0 \cdot 329$$

Aus dieser Tabelle 8 folgt, daß an Tagen mit stürmischer Bora die Windgeschwindigkeit nachtsüber größer, tagsüber kleiner ist. Die Gangkurve sinkt nach 9^h vormittags unter dem Mittelwert, erreicht das Hauptminimum um 2^h nachmittags, überschreitet den Mittelwert vor 6^h abends, um zum Hauptmaximum um 9^h abends zu gelangen. In den Morgenstunden bilden sich sekundäre Extreme aus, mit dem Minimum um 2^h morgens und dem Maximum um 7^h früh.

Tabelle 8.

Berechneter täglicher Gang der Windgeschwindigkeit an stürmischen Tagen.

	Bora		Scirocco		SW		NW	
1^h a.	47·46	0·81	36·95	—5·60	41·86	—1·23	38·98	—3·04
2	47·11*	0·46*	36·90*	—5·65*	42·15	—0·94	39·65	—2·37
3	47·12	0·47	37·64	—4·91	42·08	—1·01	40·39	—1·63
4	47·39	0·74	38·86	—3·69	41·57	—1·52	40·97	—1·05
5	47·75	1·10	40·27	—2·28	41·02*	—2·07*	41·26	—0·76
6	48·03	1·38	41·70	—0·85	41·03	—2·06	41·31	—0·71
7	**48·06**	**1·41**	43·07	0·52	42·02	—1·07	41·26	—0·76
8	47·72	1·07	44·34	1·79	43·85	0·76	41·26	—0·76
9	46·95	0·30	45·37	2·82	45·84	2·75	41·42	—0·60
10	45·80	—0·85	45·98	3·43	**47·05**	**3·96**	41·75	—0·27
11	44·42	—2·23	**46·01**	**3·46**	46·82	3·73	42·22	0·20
12	43·08	—3·57	45·44	2·89	45·15	2·06	42·78	0·76
1^h p.	42·11	—4·54	44·50	1·95	42·71	—0·38	43·41	1·39
2	41·80*	—4·85*	43·58	1·03	40·63	—2·46	44·10	2·08
3	42·30	—4·35	43·12*	0·57*	39·81*	—3·28*	44·78	2·76
4	43·59	—3·06	43·34	0·79	40·59	—2·50	45·33	3·31
5	45·41	—1·24	44·14	1·59	42·48	—0·61	**45·56**	**3·54**
6	47·34	0·69	45·12	2·57	44·53	1·44	45·29	3·27
7	48·97	2·32	**45·68**	**3·13**	**45·77**	**2·68**	44·44	2·42
8	49·98	3·33	45·38	2·83	45·73	2·64	43·08	1·06
9	**50·23**	**3·58**	44·07	1·52	44·63	1·54	41·48	—0·54
10	49·82	3·17	42·02	—0·53	43·15	0·06	40·02	—2·00
11	49·02	2·37	39·78	—2·77	42·04	—1·05	39·04	—2·98
12	48·14	1·49	37·94	—4·61	41·65	—1·44	38·70*	—3·32*
Mittel	46·65	2·06	42·55	2·57	43·09	1·80	42·02	1·73

Diese tägliche Periode ist dem allgemeinen Gange der Windgeschwindigkeit ähnlich, namentlich dem täglichen Gange der Windgeschwindigkeit im Winterhalbjahr. Dementsprechend zeigen auch die Phasenzeiten der drei Partialperioden kleine Unterschiede, bei der ganztägigen Schwankung 1° 31′, bei der halbtägigen 15° 30′ und bei der dreifachen Schwankung 12° 49′, das sind Phasendifferenzen von nur 6, 31 und 17 Minuten.

An Boratagen sind durch 16 Stunden Windgeschwindigkeiten zu entnehmen, die größer als der Mittelwert sind, entsprechend dem bereits bei den allgemeinen Mittelwerten für das Winterhalbjahr hervorgetretenen längeren Verweilen der Gangkurve über dem Mittelwert.

Vergleichen wir die tägliche Periode an stürmischen Boratagen in Pelagosa mit der von Porer,[1] so ergibt sich ein erheblicher Unterschied, da in Porer die größeren Geschwindigkeiten vormittags, die

[1] Porer, l. c. p. 403.

kleineren nachmittags zu bemerken sind. Immerhin lassen sich zu annähernd gleichen Zeiten die vier Extreme entnehmen, nur fällt bei Porer das Hauptmaximum auf 9^h vormittags, das Hauptminimum auf 4^h nachmittags, während die sekundären Extreme abends stattfinden, und zwar das Maximum um 8^h, das Minimum um 11^h. Die Phasenzeiten der ganztägigen Schwankung zeigen daher große Differenzen, 343° bei Porer gegen 96° bei Pelagosa, während die halbtägige Schwankung und auch die des 3. Gliedes annähernd übereinstimmen, 207° gegen 238° und 336° gegen 346°.

Die täglichen Perioden an stürmischen Boratagen in Triest und Lesina[1] zeigen hingegen eher eine Ähnlichkeit mit dem täglichen Boragange von Porer. Sie wickeln sich in Form einer einfachen Gangkurve ab, mit einem Maximum um 10^h beziehungsweise 8^h vormittags und einem Minimum um 1^h beziehungsweise 12^h nachts, wobei nur nachmittags eine Verzögerung im abfallenden Aste der Gangkurve zu entnehmen ist. Hierzu wäre zu bemerken, daß in den nicht durch Rechnung ausgeglichenen Stundenmitteln von Triest an Stelle dieses verzögerten Kurvenabfalles sekundäre Nachmittagsextreme zu entnehmen sind, und zwar fällt das Maximum auf 7^h p., das Minimum auf 5^h p.

Zur leichteren Übersichtlichkeit werden die Eintrittszeiten der Extreme, wie die Phasenzeiten und die Amplituden der ganz- und halbtägigen Schwankungen für alle vier Orte der Adria zusammengestellt.

	Eintrittszeiten der Extreme				Phasenzeiten des		Amplituden des	
	Max.	Min.	Max.	Min.	1. Gliedes	2. Gliedes	1. Gliedes	2. Gliedes
Triest	10^h a.	(5^h p.)	(7^h p.)	1^h a.	290°	224°	3·01	0·87
Porer	9^h a.	4^h p.	8^h p.	11^h p.	343°	207°	3·73	1·40
Lesina	8^h a.	—	—	12^h p.	312°	281°	3·39	1·43
Pelagosa	7^h a.	2^h p.	9^h p.	2^h a.	96°	238°	2·73	2·20

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der tägliche Gang an stürmischen Boratagen in Triest und Lesina eine ziemliche Übereinstimmung zeigen, der Gang von Porer ist ähnlich in Bezug auf die Entwicklung der positiven Ordinaten, da auch hier die Gangkurve vormittags über dem Mittelwert liegt, doch zeigt sich in den ersten Nachmittagsstunden ein rascher Abfall, derart, daß sich um 4^h nachmittags das Hauptminimum ausbildet und in dieser Beziehung die Gangkurve von Porer jener von Pelagosa ähnlicher wird.

Positive Ordinaten resultiren für Triest von 6^h a. bis 5^h p., für Lesina von 4^h a. bis 5^h p. und für Porer von 3^h a. bis 1^h p., also von den Morgenstunden bis in den Nachmittag, während bei Pelagosa die positiven Ordinaten nachtsüber bis in den Vormittag, von 6^h p. bis 9^h a. zu entnehmen sind.

Die Phasenzeiten der halbtägigen Schwankung von Triest, Lesina und Porer zeigen gegen die von Pelagosa nur Unterschiede von rund $^1/_2$ bis $1^1/_2$ Stunden (Pelagosa gegen Triest $^1/_2$ Stunde, gegen Porer 1 Stunde und gegen Lesina $1^1/_2$ Stunden), die der ganztägigen Schwankung hingegen sehr große Differenzen.

Von diesen vier Orten ist auf Pelagosa die Amplitude der ganztägigen Schwankung die kleinste, die der halbtägigen hingegen die größte.

Was nun die Amplitude der resultierenden täglichen Periode an stürmischen Boratagen bei Pelagosa anbelangt, die in der nachfolgenden Zusammenstellung ersichtlich ist, so ist dieselbe nach der Differenz der größten positiven und negativen Ordinate, wie auch nach dem Mittelwerte der Ordinaten gemessen, fast doppelt so groß als beim allgemeinen Mittel der Windgeschwindigkeit, 8·43 gegen 4·53 und 2·06 gegen 1·15. Die Schwankung, nach Quotienten ausgedrückt, resultiert hingegen mit nahezu gleichen Beträgen, sowohl für die Quotienten zwischen der größten positiven und negativen Ordinate, wie für die zwischen der Amplitude, beziehungsweise der mittleren Ordinate und der mittleren Geschwindigkeit, 1·20 gegen 1·20, 0·181 gegen 0·178 und 0·044 gegen 0·045. Es ergibt sich daher auch hier bei der stürmischen Bora dasselbe Ergebnis wie früher bei Betrachtung sämtlicher Sturmtage ohne Rücksichtnahme auf die Windrichtung.

---

[1] Triest, l. c. p. 1379, Lesina l. c. p. 38.

Für alle vier Orte der Adria ergeben sich aus den berechneten Gangkurven nachfolgende tägliche Schwankungen:

	Triest	Porer	Lesina	Pelagosa
ν	47·49	51·26	34·87	46·65
$\Delta\nu$	6·93	8·39	8·30	8·43
Max. : Min.	1·16	1·18	1·27	1·20
μ	1·83	2·58	2·23	2·06
$\frac{\Delta\nu}{\nu}$	0·146	0·164	0·238	0·181
$\frac{\mu}{\nu}$	0·039	0·050	0·064	0·044

Nach jeder Darstellungsweise zeigt Triest die kleinere Tagesschwankung. Auffallend sind die nahezu gleichgroßen Amplituden für Porer, Lesina und Pelagosa, sie bewegen sich nur zwischen 8·3 und 8·4.

Der tägliche Gang der Windgeschwindigkeit bei stürmischem Scirocco zeigt einen anderen Verlauf als bei Bora. Positive Ordinaten kommen tagsüber vor. Die Gangkurve erhebt sich vor 7^h morgens über den Mittelwert, erreicht das erste Maximum um 11^h vormittags, fällt sodann zu einem Nebenminimum auf 3^h nachmittags und gelangt zum zweiten Maximum um 7^h abends. Vor 10^h nachts sinkt die Windgeschwindigkeit unter den Mittelwert, um das Hauptminimum um 2^h morgens zu erreichen. Sie zeigt eine gewisse Ähnlichkeit mit der Gangkurve aus sämtlichen Sturmtagen, nur daß dortselbst der nachmittägige Abfall stärker ausgeprägt ist und negative Ordinaten aufweist.

Die Eintrittszeiten der Extreme fallen auch auf annähernd gleiche Zeiten.

	Max.	Min.	Max.	Min.
Allgemeine Sturmtage	9^h a.	3^h p.	7^h p.	12^h p.
Stürmischer Scirocco	11^h a.	3^h p.	7^h p.	2^h a.

Die Amplituden der ganztägigen Schwankungen sind fast gleich groß, die der halbtägigen Schwankung entsprechend dem früher Gesagten bei Scirocco kleiner als bei den Mittelwerten aus sämtlichen Sturmtagen.

	1. Glied		2. Glied	
	Amplitude	Phasenzeit	Amplitude	Phasenzeit
Allgemeine Sturmtage	3·45	312°	2·78	258°
Stürmischer Scirocco	3·46	258°	2·33	232°

Infolge der oben hervorgehobenen ziemlichen Übereinstimmung der Eintrittszeiten der Doppelextreme differieren die Phasenzeiten der 2. Glieder, also der halbtägigen Periode, nur um 26°, oder um 52 Zeitminuten.

So verschieden der tägliche Gang bei Scirocco im Vergleiche zu dem der Bora erscheint, da bei Scirocco die Windstärke tagsüber größer ist, bei Bora hingegen nachtsüber, so zeigt sich doch in der Doppelschwankung der beiden Gangkurven insofern eine Ähnlichkeit, daß die Eintrittszeiten der vier Extreme ungefähr auf dieselben Tageszeiten fallen. Es zeigt sich dies auch bei den periodischen Einzelgliedern. Die Phasenzeiten der einfachen Schwankung liegen fast entgegengesetzt, 96° gegen 258°, die der Doppelschwankung sind hingegen fast gleich groß, 238° bei Bora, 232° bei Scirocco, daher nur ein Unterschied von 6° oder 12 Zeitminuten. Auch die Phasenzeiten der 3. Glieder differieren nur um 21°, das sind 28 Minuten.

Die Amplituden der drei Partialperioden sind bei Scirocco größer als bei der Bora.

Die in der Tabelle 8 gebrachten stündlichen Werte lassen für den stürmischen Scirocco auf Pelagosa die unten folgenden Größen für die tägliche Schwankung ableiten. Ein Vergleich mit der früheren Zusammenstellung für stürmische Boratage auf Pelagosa läßt entnehmen, daß bei Sciroccostürmen die tägliche Schwankung größer ist als bei Bora. Daher ist die tägliche Schwankung bei

Scirocco, nach jeder Darstellungsweise derselben, stets stärker als die bei den allgemeinen Mittelwerten der Windgeschwindigkeit, nicht nur bei der Amplitude und der mittleren Ordinate, sondern auch bei den drei verschiedenen Quotientenbildungen.

Vergleichen wir nun die tägliche Sciroccoperiode auf Pelagosa mit dem täglichen Gange bei Porer und Lesina.[1] Pelagosa und Porer zeigen große Ähnlichkeit, sowohl im Verlauf der Gangkurven als auch in den Eintrittszeiten der Extreme; bei beiden kommt die Doppelschwankung in fast gleicher Weise zum Ausdruck. Lesina zeigt hingegen nur eine einfache Tagesschwankung. Doch sind in allen drei Orten die positiven Ordinaten tagsüber zu entnehmen. Die Gangkurven liegen über den Mittelwerten, bei Porer von 9^h a. bis 9^h p., bei Lesina von 7^h a. bis 7^h p. und bei Pelagosa von 7^h a. bis 9^h p.

Die Eintrittszeiten der Extreme sind nachfolgende:

	Min.	Max.	Min.	Max.
Porer	1^h a.	12^h a.	3^h p.	6^h p.
Lesina	2^h a.	1^h p.	—	—
Pelagosa	2^h a.	11^h a.	3^h p.	7^h p.

Entsprechend diesen Ergebnissen verhalten sich auch die Phasenzeiten und die Amplituden der für diese drei Orte berechneten Sinusgleichungen:

	1. Glied		2. Glied	
	Phasenzeit	Amplitude	Phasenzeit	Amplitude
Porer	250°	4·16	225°	0·76
Lesina	266°	5·52	211°	0·68
Pelagosa . . .	258°	3·46	232°	2·33

Die Phasenzeiten sowohl der 1. als auch der 2. Glieder variieren nur wenig untereinander, bei der einfachen Periode beträgt der Unterschied von Pelagosa gegen Porer und Lesina nur je 8°, das sind 32 Zeitminuten, bei der Doppelperiode 7° oder 14 Minuten beziehungsweise 21° oder 42 Minuten. Die Amplitude der ganztägigen Schwankung ist bei Lesina die größte, die der halbtägigen hingegen die kleinste. In Pelagosa ist die Amplitude der Doppelschwankung bedeutend größer als auf Lesina und Porer.

Was nun die Größe der Schwankung der aus den drei Einzelkomponenten resultierenden täglichen Periode anbelangt, so lassen sich nachfolgende Werte einander gegenüberstellen, woraus zu entnehmen ist, daß auf Lesina die tägliche Schwankung nach jeder Darstellungsweise die größere ist.

	Porer	Lesina	Pelagosa
ν	44·23	46·58	42·55
$\Delta\mu$	8·74	11·46	9·11
Max. : Min.	1·22	1·28	1·25
μ	2·86	3·50	2·57
$\frac{\Delta\nu}{\nu}$	0·198	0·246	0·214
$\frac{\mu}{\nu}$	0·065	0·075	0·060

Von den zwei Orten mit gleichem Kurvenverlauf, Pelagosa und Porer, ist die Schwankung nach den Differenzen und Quotienten zwischen der größten positiven und negativen Ordinate bei Pelagosa die größere.

Auch Lesina und Porer zeigen, wie aus einem Vergleich dieser Zusammenstellung mit der früheren über die Boratage hervorgeht, daß die tägliche Schwankung bei Scirocco stets größer ist als bei der Bora.

---

[1] L. c. Porer p. 403, Lesina p. 38.

Die stürmischen Südwestwinde auf Pelagosa zeigen eine tägliche Periode, die dem täglichen Gange des Sciroccos ähnlich verläuft, nur erscheint das Nachmittagsminimum kräftiger ausgeprägt. Die Gangkurve erhebt sich über den Mittelwert vor 8^h morgens, erreicht das 1. und größere Maximum um 10^h vormittags, sinkt sodann sehr rasch, so daß der Mittelwert vor 1^h p. erreicht wird. Die Kurve sinkt weiter bis zum Hauptminimum um 3^h p., worauf eine neuerliche Zunahme stattfindet bis zum 2. Maximum um 7^h p. Im hierauf folgenden absteigenden Ast der Gangkurve wird der Mittelwert um 10^h abends erreicht. Die Kurve bleibt sodann unter diesem, erreicht das 2. Minimum um 5^h a., zeigt jedoch sekundäre Änderungen mit einem kleinen Minimum um Mitternacht und einer kleinen Erhebung um 2^h früh.

Die Doppelschwankung im Laufe der 24 Stunden eines Tages ist also bei den Südweststürmen sehr deutlich ausgeprägt; Windgeschwindigkeiten über dem Mittelwert kommen vormittags und abends vor, unter dem Mittelwert in den ersten Nachmittagsstunden und nachtsüber.

Diese doppelte tägliche Periode ist in den Amplituden der Sinusfunktion deutlich ersichtlich. Die Amplitude der ganztägigen Schwankung ist klein, nur 0·73, während sie bei den Scirocco-stürmen mit 3·46 und bei Bora mit 2·73 resultiert. Die Amplitude des 2. Gliedes, die halbtägige Schwankung, ist viel größer, 2·17, und annähernd so groß wie bei dem Scirocco, 2·33, und der Bora, 2·20. Abnorm groß ist bei diesen Südweststürmen die Amplitude des 3. Gliedes, 1·83, während diese bei Scirocco nur 0·69 und bei Bora 0·19 beträgt. Die großen Werte des 3. Gliedes stehen mit den sekundären Nachtextremen im Zusammenhang.

Die Eintrittszeiten der Maxima wie auch des Tagesminimums stimmen mit den Eintrittszeiten der Extreme bei Scirocco überein, was sich auch aus den relativ geringen Unterschieden der Phasenzeiten ersehen läßt. Beim ersten Gliede ist für den Südwest im Vergleich zu dem Scirocco eine Verfrühung im Ausmaße von 6°, das sind 24 Minuten, beim 2. Gliede eine Verspätung von 30°, also einer Stunde, und beim 3. Gliede eine Verfrühung um 45°, also wieder um eine Stunde, zu entnehmen.

Als Maß für die tägliche Schwankung lassen sich für die stürmischen Südwestwinde nachfolgende Größen bestimmen;

ν	43·09
$\Delta\mu$	7·24
Max. : Min.	1·18
μ	1·80
$\frac{\Delta\nu}{\nu}$	0·168
$\frac{\mu}{\nu}$	0·042

Im Vergleiche zu den analogen Größen beim täglichen Gange an Tagen mit stürmischem Scirocco resultieren daher bei den Südweststürmen kleinere Schwankungen, und zwar bei allen fünf Werten.

Betrachten wir zum Schlusse die tägliche Periode der stürmischen Nordwestwinde. Diese läßt eher den Schluß auf eine einfache Tagesschwankung zu, mit den größeren Werten am Nachmittag und den kleineren nachtsüber und vormittags. Die Gangkurve überschreitet den Mittelwert vor 11^h vormittags, gelangt zum Maximum um 5^h nachmittags, sinkt unter den Mittelwert vor 9^h abends, um das Minimum um Mitternacht zu erreichen. Von hier an steigt die Kurve nicht stetig, sondern zeigt eine sekundäre Schwankung in den Morgenstunden zwischen 5 und 8^h früh.

Die Amplitude des 1. Gliedes der periodischen Reihe bei den Nordweststürmen resultiert daher auch entsprechend der einfachen Tagesschwankung mit einem größeren Wert als die des 2. Gliedes, 2·52 gegen 1·40.

Vergleichen wir die Konstanten aller vier Sinusreihen, so ersehen wir bei der ganztägigen Schwankung unter den Amplituden stärkere Unterschiede, von 3·46 bei den Sciroccostürmen bis zu 0·73 bei den Südweststürmen. Die Phasenzeiten stimmen hingegen bei den SE-, SW- und NW-Stürmen

ziemlich überein, SE...258°, SW...264° und NW...240°, demnach beim NW im Vergleich zum SW und SE Phasenunterschiede von 1·2 und 1·6 Stunden. Die Bora zeigt hingegen, entsprechend dem früher hervorgehobenen, große Phasendifferenzen, den NW-Stürmen gegenüber einen Unterschied von 9·6 Stunden.

Bei der halbtägigen Schwankung zeigen hingegen die Amplituden und Phasenzeiten der NE-, SE- und SW-Stürme ziemliche Übereinstimmung, da die Amplituden mit 2·20, 2·33 und 2·17 resultieren und die Phasenzeiten mit 238°, 232° und 202°. Hier zeigen die Konstanten des NW-Ganges starke Abweichungen, die Amplitude wird die kleinste mit 1·40, die Winkelkonstante von 324° zeigt eine Verfrühung von fast 3 bis über 4 Stunden gegen die der drei anderen Windrichtungen.

Nach dem aus den Einzelperioden resultierenden täglichen Gang der NW-Stürme, wie er in Tabelle 8 mitgeteilt ist, lassen sich folgende Schwankungswerte bestimmen:

v	42·02
Δv	6·86
Max. : Min.	1·18
μ	1·73
$\frac{\Delta v}{v}$	0·163
$\frac{\mu}{v}$	0·041

Diese Größen für die tägliche Periode stimmen mit denen der SW-Stürme nahezu überein, sie sind nur etwas kleiner.

Aus diesen Beobachtungen ist das Mittel der Windgeschwindigkeit an Sturmtagen bei der Bora das größere. Die größte Schwankung in der täglichen Periode weisen die Sciroccostürme auf.

In den hier in Betracht gezogenen vollen Sturmtagen ergeben sich für die einzelnen Windrichtungen und Jahreszeiten nachfolgende absolute Maxima und mittleren Extreme der Windgeschwindigkeiten.

	Stürme aus			
	NE	SE	SW	NW
	Absolute Maxima			
Winter	**101**	**84**	**112**	75
Frühling	90	82	94	**109**
Sommer	—	54	—	81
Herbst	80	65	74	73
Winterhalbjahr	101	84	112	75
Sommerhalbjahr	77	82	65	109
Jahr	101 9./12. 1913	84 26./2. 1914	112 29./12. 1913	109 7./5. 1913
	Mittlere Maxima			
Winterhalbjahr	71·1	61·6	69·2	59·8
Sommerhalbjahr	66·0	60·9	59·5	63·8
Jahr	70·5	61·2	67·6	62·5
	Mittlere Minima			
Winterhalbjahr	23·9	21·2	21·1	20·1
Sommerhalbjahr	25·5	22·6	9·0	22·9
Jahr	24·1	21·8	19·1	21·9
	Amplituden			
Winterhalbjahr	47·2	40·4	48·1	39·7
Sommerhalbjahr	40·5	38·3	50·5	40·9
Jahr	46·4	39·4	48·5	40·6

Im Winter erreichen die Bora- und Sciroccostürme, wie auch die Südweststürme ihre größte Stärke, während die Nordweststürme im Frühjahr die größte Windgeschwindigkeit aufweisen.

Bei diesen Stürmen, mit einer durch alle 24 Stunden des Tages anhaltenden gleichen Windrichtung, überschreiten sowohl die Bora als auch die SW- und NW-Stürme die Geschwindigkeit von 100 *km* pro Stunde. Bei Bora wurden 101 *km*, bei NW 109 *km* und bei SW 112 *km* pro Stunde erreicht, während die hier in Betracht gekommenen Sciroccostürme auf ein Maximum von 84 *km* pro Stunde kommen.

Dauer der stürmischen Winde.

In der bisherigen Bearbeitung waren zur Ableitung des täglichen Ganges nur jene stürmischen Tage berücksichtigt, an welchen von Mitternacht bis Mitternacht die gleiche Windrichtung anhielt. Es soll nun die Begrenzung der Dauer auf einen Kalendertag entfallen und alle Fälle, gleichgültig ob der Sturm nur wenige Stunden oder tagelang anhielt, in Betracht gezogen werden.

Die Trennung wurde auch hier nach den vier Quadranten durchgeführt, daher Bora- und Scirocco-stürme, SW- und NW-Stürme getrennt herausgeschrieben. Sobald die Windstärke 50 *km* pro Stunde erreichte, wurde die Anzahl der Stunden bestimmt, durch welche die Windrichtung des entsprechenden Quadranten anhielt, wieviel Stunden hiervon mindestens die Stärke von 50 *km* erreichten und überdies, durch wieviel Stunden diese stürmische Windstärke ununterbrochen anhielt. In den Tabellen 9 bis 12 sind die resultierenden Fälle nach Schwellenwerten für die einzelnen Jahreszeiten und das Jahr zusammengestellt und in Tabelle 13 die Mittel- und Extremwerte für diese Stürme ersichtlich gemacht.

In diesen zwei Jahren, vom September 1912 bis inklusive August 1914, kamen im ganzen 186 Stürme vor, die sich in nachfolgender Weise auf die einzelnen Quadranten verteilen:

Häufigkeit der Stürme ohne Begrenzung ihrer Dauer

(2 Jahre, September 1912 bis August 1914).

	NE	SE	SW	NW	Summe
Winter	15	6	14	18	53
Frühling	8	9	11	14	42
Sommer	7	4	5	19	35
Herbst	12	9	16	19	56
Jahr	42	28	46	70	186

Bei Pelagosa kommen daher am häufigsten die NW-Stürme vor, mit 37% sämtlicher Fälle, hierauf folgen der Frequenz nach die SW-Stürme mit 25%, die Borastürme mit 23% und schließlich die Sciroccostürme mit 15% aller Fälle. Auch bei der früheren Betrachtung der durch einen vollen Kalendertag anhaltenden Stürme konnte eine ähnliche Verteilung nachgewiesen werden, am häufigsten resultierten die NW-Stürme, die geringste Häufigkeit ergab sich für die Sciroccostürme.

Aus den Tabellen 9 bis 11 ist zu ersehen, daß in dieser allerdings kurzen Beobachtungsreihe die anhaltende gleiche Windrichtung mit einer mehr als 24stündigen Dauer, sowohl bei den Borastürmen, wie auch bei den SW- und NW-Stürmen bei der Hälfte sämtlicher Fälle vorkommt, 52 bis 51% der Fälle. Nur bei den Sciroccostürmen zeigt der größere Teil, 68% aller Fälle, eine über 24 Stunden währende Dauer.

Die Stürme, nach der anhaltenden gleichen Windrichtung betrachtet, zeigen im Sommer bei der NE- und SW-Richtung niemals eine über 24 Stunden reichende Dauer, bei der SE-Richtung erstreckt sich die Dauer bis zu 48 Stunden, während die NW-Richtungen im Sommer wiederholt durch mehr als 72 Stunden anhielten.

Auf Pelagosa kommen in den hier beobachteten Fällen im Sommer bei den Bora-, Scirocco- und SW-Stürmen niemals Windgeschwindigkeiten von mindestens 50 *km* durch mehr als 6 Stunden vor, wobei kein Fall mit einer mehr als dreistündigen ununterbrochenen stürmischen Windstärke zur

Tabelle 9.

Häufigkeit stürmischer Bora

getrennt nach der Anzahl der Stunden mit anhaltender Borarichtung.

Stunden	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
1— 12	1	3	5	3	12
— 24	3	1	2	2	8
— 36	5	1	.	3	9
— 48	3	1	.	1	5
— 60	1	2	.	2	5
— 72	.	.	.	1	1
— 96	1	.	.	.	1
—120	1	.	.	.	1
Mit einer Geschwindigkeit $\geqq$ 50 *km* pro St.					
1— 6	8	4	7	5	24
—12	2	2	.	1	5
—18	.	1	.	4	5
—24	.	1	.	.	1
—36	3	.	.	2	5
—48	1	.	.	.	1
—60	.	.	.	.	.
—72	.	.	.	.	.
—96	1	.	.	.	1
Mit einer ununterbrochenen Geschwindigkeit $\geqq$ 50 *km* pro St.					
1— 3	5	3	7	5	20
— 6	5	2	.	3	10
— 9	.	1	.	1	2
—12	1	.	.	1	2
—15	.	2	.	.	2
—18	.	.	.	1	1
—21	.	.	.	.	.
—24	.	.	.	.	.
—36	3	.	.	1	4
—48	1	.	.	.	1
Anzahl der Fälle	15	8	7	12	42

Beobachtung gelangte. Bei den 19 Sommerstürmen der nordwestlichen Richtung konnten hingegen 6 mal Windgeschwindigkeiten von mindestens 50 *km* durch mehr als 12 Stunden aufgezeichnet werden und 9 mal mit einer durch mehr als 6 Stunden ununterbrochenen stürmischen Stärke von, beziehungsweise über 50 *km*.

Stürmische Geschwindigkeiten durch mehr als 12 Stunden kommen im Winter bei der Bora unter 15 Fällen 5 mal, bei Scirocco unter 6 Fällen nur 1 mal, bei den 14 SW-Stürmen 6 mal und bei den 18 NW-Stürmen 3 mal vor.

Tabelle 10.

Häufigkeit stürmischen Sciroccos

getrennt nach der Anzahl der Stunden mit anhaltender Sciroccorichtung.

Stunden	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
1— 12	.	.	.	2	2
— 24	4	.	1	2	7
— 36	1	1	2	2	6
— 48	.	.	1	1	2
— 60	.	3	.	.	3
— 72	.	2	.	.	2
— 96	1	.	.	2	3
—120	.	3	.	.	3
Mit einer Geschwindigkeit $\gtreqless$ 50 *km* pro St.					
1— 6	2	1	4	7	14
—12	3	3	.	2	8
—18	.	3	.	.	3
—24	.	1	.	.	1
—36	.	.	.	.	.
—48	1	.	.	.	1
—60	.	1	.	.	1
Mit einer ununterbrochenen Geschwindigkeit $\gtreqless$ 50 *km* pro St.					
1— 3	2	.	4	6	12
— 6	1	4	.	2	7
— 9	1	1	.	1	3
—12	1	1	.	.	2
—15	.	1	.	.	1
—18	.	.	.	.	.
—21	.	.	.	.	.
—24	.	1	.	.	1
—36	1	.	.	.	1
—48	.	1	.	.	1
Anzahl der Fälle	6	9	4	9	28

Eine ununterbrochene Reihe stürmischer Windstärken durch mehr als 6 Stunden kommt im Winter bei den 15 Borastürmen 5 mal, bei den 6 Sciroccostürmen 3 mal, bei den 14 SW-Stürmen 8 mal und bei den 18 NW-Stürmen nur 3 mal vor.

Aus der Tabelle 13 wäre hervorzuheben, daß die mittlere Dauer einer Boraperiode mit 29 Stunden resultiert, daß im Mittel durch 12 Stunden stürmische Windstärken erreicht werden, wobei im Mittel durch 8 Stunden eine ununterbrochene Folge von stürmischen Geschwindigkeiten zu beobachten ist. Bei den Sciroccostürmen resultieren die Werte mit 45, 10 und 8 Stunden, bei den SW-Stürmen mit 33, 10 und 8 und bei den NW-Stürmen mit 37, 8 und 6 Stunden.

Tabelle 11.

Häufigkeit stürmischer SW-Winde

getrennt nach der Anzahl der Stunden mit anhaltender südwestlicher Richtung.

Stunden	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
1— 12	3	1	3	3	10
— 24	2	4	2	4	12
— 36	2	3	.	4	9
— 48	3	1	.	1	5
— 60	1	.	.	3	4
— 72	2	.	.	.	2
— 96	1	1	.	1	3
—120	.	1	.	.	1
Mit einer Geschwindigkeit $\gtreqless$ 50 *km* pro St.					
1— 6	4	4	5	10	23
—12	4	3	.	4	11
—18	2	1	.	1	4
—24	2	2	.	1	5
—36	2	.	.	.	2
—48	.	.	.	.	.
—60	.	1	.	.	1
Mit einer ununterbrochenen Geschwindigkeit $\gtreqless$ 50 *km* pro St.					
1— 3	4	3	5	7	19
— 6	2	1	.	5	8
— 9	1	2	.	.	3
—12	3	4	.	2	9
—15	.	.	.	1	1
—18	1	.	.	1	2
—21	1	.	.	.	1
—24	.	.	.	.	.
—36	2	1	.	.	3
Anzahl der Fälle	14	11	5	16	46

Die längste Dauer einer Sturmperiode nach der Anzahl der Stunden mit anhaltender gleicher Richtung gemessen, resultiert für Bora mit 119 Stunden, und zwar im Winter, für den Scirocco mit 104 Stunden im Frühling, für die SW-Stürme mit 103 Stunden auch im Frühling und für den NW mit 206 Stunden im Winter, wobei jedoch erwähnt werden muß, daß bei dieser Windrichtung auch im Sommer die lange Dauer von 108 Stunden zur Beobachtung gelangte.

Die größte Anzahl von Stunden mit einer Geschwindigkeit von und über 50 *km* wurden in dieser zweijährigen Beobachtungszeit bei der Bora im Winter mit 96 Stunden erreicht, das sind vier volle Tage. Scirocco- und SW-Stürme erlangten ein Maximum von 54 und 58 Stunden stürmischer Stärke im Frühling. In diesen drei Quadranten zeigen die Sommerstürme bei der NE- und SW-Richtung nur ein

Tabelle 12.

Häufigkeit stürmischer NW-Winde

getrennt nach der Anzahl der Stunden mit anhaltender nordwestlicher Richtung.

Stunden	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
1— 12	6	2	1	4	13
— 24	5	5	4	7	21
— 36	4	1	1	5	11
— 48	.	4	3	2	9
— 60	1	1	2	.	4
— 72	.	1	2	1	4
— 96	1	.	4	.	5
—120	.	.	2	.	2
>120	1	.	.	.	1
Mit einer Geschwindigkeit $\gtreqless$ 50 *km* pro St.					
1— 6	14	6	9	14	43
—12	1	4	4	3	12
—18	3	2	4	1	10
—24	.	.	.	1	1
—36	.	2	2	.	4
Mit einer ununterbrochenen Geschwindigkeit $\gtreqless$ 50 *km* pro St.					
1— 3	9	4	9	12	34
— 6	6	4	1	3	14
— 9	1	.	6	.	7
—12	1	3	1	2	7
—15	1	2	.	1	4
—18	.	.	1	.	1
—21	.	.	.	.	.
—24	.	.	.	1	1
—36	.	1	1	.	2
Anzahl der Fälle	18	14	19	19	70

Maximum von 5 Stunden, bei der SE-Richtung von 3 Stunden stürmischer Stärke. Bei den NW-Stürmen resultiert die größte Anzahl von Stunden mit stürmischer Stärke im Frühling mit 34, im Sommer mit 30 Stunden.

Eine ununterbrochene Folge stürmischer Windgeschwindigkeiten von und über 50 *km* wurden bei den Borastürmen im Winter durch 47 Stunden, also durch volle zwei Tage beobachtet. Sciroccostürme erreichten ihr Maximum einer ununterbrochenen stürmischen Stärke im Frühling mit 39 Stunden, die SW-Stürme ebenfalls im Frühjahr mit 29 Stunden. Die größte Anzahl der aufeinanderfolgenden Stunden mit stürmischer Stärke wurde bei den NW-Stürmen im Frühling durch 34 Stunden, im Sommer durch 30 Stunden beobachtet.

Ein Vergleich mit den bei Porer erhaltenen Daten läßt sich hier schwer anstellen, stehen doch für Pelagosa derzeit nur zwei Beobachtungsjahre zur Verfügung. Immerhin ergibt sich aus diesen Beob-

Tabelle 13.

Perioden stürmischer Winde.

	Anzahl der Stunden mit anhaltender Windrichtung aus den gleichen Quadranten			Anzahl der Stunden mit einer Geschwindigkeit $\gtreqless$ 50 *km* pro St.			Anzahl der Stunden mit einer ununterbrochenen Geschwindigkeit $\gtreqless$ 50 *km* pro St.		
	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.
				Stürmische Bora					
Winter . . .	**39**	**119**	3	**18**	**96**	1	**12**	**47**	1
Frühling . . .	27	56	2	9	24	1	7	15	1
Sommer . . .	9	22	2	3	5	1	2	3	1
Herbst	29	65	3	11	30	1	8	28	1
Jahr	29	119	2	12	96	1	8	47	1
				Stürmischer Scirocco					
Winter . . .	34	91	15	14	47	2	10	34	1
Frühling . . .	**69**	**104**	30	**17**	**54**	6	**12**	**39**	4
Sommer . . .	29	37	21	2	3	1	2	3	1
Herbst	37	93	10	5	7	2	4	7	1
Jahr	45	104	10	10	54	1	8	39	1
				Stürmischer Südwest					
Winter . . .	**38**	83	10	12	30	1	**11**	27	1
Frühling . . .	37	**103**	12	**13**	**58**	1	9	**29**	1
Sommer . . .	11	20	5	3	5	1	2	2	1
Herbst	31	81	7	7	22	1	6	17	1
Jahr	33	103	5	10	58	1	8	29	1
				Stürmischer Nordwest					
Winter . . .	34	**206**	3	6	15	1	4	15	1
Frühling . . .	31	68	4	**11**	**34**	1	**8**	**34**	1
Sommer . . .	**55**	108	12	10	30	1	7	30	1
Herbst	24	67	8	5	22	1	5	22	1
Jahr	37	206	3	8	34	1	6	34	1

achtungen, daß die Dauer der stürmischen Bora auf Pelagosa kleiner wird, da bei Porer[1] Borastürme mit 158 Stunden stürmischer Stärke und einer durch 125 Stunden ununterbrochen anhaltenden Sturmstärke beobachtet wurden, während bei Pelagosa bisher für Borastürme als Maximalwerte 96 Stunden stürmischer Stärke und durch 47 Stunden ununterbrochen anhaltende stürmische Geschwindigkeiten zur Aufzeichnung gelangten.

[1] L. c. Porer, p. 412, 413, 416.

Der Scirocco zeigt schon ein anderes Verhalten, bei Porer[1] wurden im Maximum 62 stürmische Stunden aufgezeichnet, bei Pelagosa nur um einen kleinen Betrag weniger, nämlich 54, während die längste Dauer anhaltender stürmischer Geschwindigkeit bei Porer mit 31 Stunden resultiert, bei Pelagosa hingegen mit 39 Stunden.

Für die westlichen Stürme ergibt sich ein größeres Übergewicht für Pelagosa. Auf Porer[1] werden bei den Stürmen des 3. und 4. Quadranten im Maximum durch 22 Stunden stürmische Windstärken beobachtet, während auf Pelagosa bei den SW-Stürmen 58, bei den NW-Stürmen 34 Stunden bereits aus dieser kurzen Beobachtungsreihe resultieren. Die längste ununterbrochene Reihe von stürmischen W-Winden wurde bei Porer nach einer fünfjährigen Beobachtungsreihe durch 12 Stunden hindurch beobachtet, auf Pelagosa hingegen bei einer nur zweijährigen Beobachtungsdauer, bei den SW-Stürmen 29 Stunden, bei den NW-Stürmen 34 Stunden hindurch.

Eine jährliche Periode der stürmischen Winde für Pelagosa abzuleiten, ist bei der bisherigen kurzen Beobachtungsreihe unmöglich. Trotzdem sollen hier wenigstens für die vier Jahreszeiten und das Jahr für die vier Sturmrichtungen die Anzahl der zur Beobachtung gelangten Stunden mit stürmischer Windstärke für ein mittleres Jahr mitgeteilt werden.

Mittlere Häufigkeit stürmischer Winde $\geqq 50\,km$ pro Stunde für Pelagosa.

	Bora	Scirocco	SW	NW	Summe
Winter	**136·0**	40·5	**84·0**	49·5*	**310·0**
Frühling	36·0	**76·5**	74·0	75·5	262·0
Sommer	9·5*	4·0*	7·0*	**91·0**	111·5*
Herbst	68·5	20·5	56·0	50·5	195·5
Jahr	250·0	141·5	221·0	266·5	879·0

In einem Jahre gelangen demnach auf Pelagosa 879 Stunden mit stürmischer Windstärke zur Beobachtung, hiervon fallen auf die NW-Richtung 30%, auf die Bora 29%, auf die SW-Richtung 25% und auf den Scirocco 16%.

Vergleichshalber sollen die Werte für Triest, Porer und Lesina in der folgenden Gegenüberstellung gebracht werden, wobei neuerdings auf die Bemerkung über die verschiedenen Epochen auf Seite 418 und 419 der bereits zitierten Abhandlung über die Windverhältnisse bei Porer hingewiesen werden soll.

Bei der Bora ist an allen vier Orten die größte Anzahl stürmischer Stunden im Winter, die kleinste im Sommer zu entnehmen. Im Verhältnis zu der Gesamtzahl des betreffenden Ortes fallen in Triest 47% aller stürmischen Borastunden auf den Winter, 8% auf den Sommer, in Porer 50% auf den Winter, 10% auf den Sommer, in Lesina 45% für den Winter und 4% für den Sommer und schließlich bei Pelagosa 54% sämtlicher Borastunden im Winter und 4% im Sommer.

Mittlere Häufigkeit stürmischer Winde.

	Triest	Porer				Lesina				
	Bora	Bora	Scirocco	SW u. NW	Summe	Bora	Scirocco	SW	NW	Summe
Winter . . .	**253·6**	**384·6**	81·0	17·2	**482·8**	**26·0**	82·4	**15·0**	**4·4**	127·8
Frühling . .	128·8	128·8	55·4	6·6	190·8	14·8	**183·7**	3·8	1·6	**203·9**
Sommer . .	44·0*	73·8*	3·0*	9·8*	86·6*	2·4*	50·4*	0·2*	0·8*	53·8*
Herbst . . .	116·4	180·6	**88·2**	**37·8**	306·6	15·1	107·8	9·0	0·9	132·8
Jahr	542·8	767·8	227·6	71·4	1066·8	58·3	424·3	28·0	7·7	518·3

[1] L. c. Porer, p. 412, 413, 416.

Der Scirocco erreicht auf Porer die größte Häufigkeit stürmischer Stunden im Herbst, 39% aller Fälle, während auf Lesina und Pelagosa das Maximum auf den Frühling mit 43 beziehungsweise 54% fällt. An allen drei Orten kommt dem Sommer die kleinste Häufigkeit zu, Porer nur 1%, Lesina 12% und Pelagosa 3% sämtlicher Stunden stürmischen Sciroccos des entsprechenden Beobachtungsortes.

Die SW-Winde zeigen auf Lesina die größte Häufigkeit im Winter mit 54%, die kleinste im Sommer mit 1%; die gleiche Verteilung resultiert für Pelagosa mit den prozentuellen Beträgen von 38 und 3%.

Die wenigen NW-Stürme auf Lesina zeigen ein häufigeres Vorkommen im Winter, ein geringeres im Sommer, während auf Pelagosa für den NW-Wind die größte Anzahl stürmischer Stunden auf den Sommer fällt, mit 34%, die kleinste im Winter mit 19% aller NW-Stürme dieses Ortes.

Bei besonderer Betonung, daß die kurze Beobachtungsdauer auf Pelagosa nicht gestattet, sichere Vergleiche mit den anderen Stationen anzustellen, kann doch immerhin hervorgehoben werden, daß die Anzahl der Stunden mit stürmischem Scirocco auf Pelagosa auffallend klein ist im Vergleiche zu Lesina. Von sämtlichen Stunden stürmischer Stärke eines Jahres fallen bei Lesina 82% auf den Scirocco, bei Pelagosa hingegen nur 16%. Die SW- und NW-Stürme erreichen hingegen bei Pelagosa eine große Häufigkeit im Vergleiche zu Lesina. In Lesina fallen nur 5% sämtlicher Stunden stürmischer Windstärke auf die SW-Richtung und kaum 2% auf den NW, während auf Pelagosa der SW-Richtung 25% und der NW-Richtung 30% sämtlicher Stunden stürmischer Stärke zukommen.

Maxima der stündlichen Windgeschwindigkeit.

Aus den bisher vorliegenden 26 Beobachtungsmonaten (Juli 1912 bis August 1914) wurden für die einzelnen Windrichtungen und Monate die größten Windgeschwindigkeiten bestimmt. Aus diesen wurden für die zwei vollen Jahre, September 1912 bis August 1914, die nachfolgenden mittleren Maxima für die Jahreszeiten und die vier Hauptwindrichtungen gebildet.

Mittlere Maxima der Windgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde.

2 Jahre, September 1912 bis August 1914

	Bora	Scirocco	SW	NW	Mittel
Winter	61·3	32·6	58·9	46·3	49·8
Frühling	56·9	33·9	58·8	50·0	49·9
Sommer	50·1	34·2	45·7	48·8	44·7
Herbst	56·5	36·9	59·2	43·8	49·1
Jahr	56·2	34·4	55·6	47·2	48·4

Das Jahresmittel der Maxima der Windgeschwindigkeit erreicht 48 Kilometer pro Stunde. Die Bora zeigt den größten Mittelwert im Winter mit 61 *km*, den kleinsten im Sommer mit 50 *km* pro Stunde. Die mittleren Maxima für den Scirocco resultieren mit kleineren Beträgen, der größte Wert wird im Herbst mit 37 *km* erreicht. Bei den SW-Winden sind die mittleren Maxima im Winter, Frühling und Herbst nahezu gleich groß, bei 59 *km*; den kleinsten Betrag erreicht das mittlere Maximum im Sommer mit 46 *km* pro Stunde. Die NW-Winde zeigen hingegen die größeren Werte im Frühling und Sommer, mit einem mittleren Maximum von 50 *km* in der erstgenannten Jahreszeit.

Trotz der kurzen Beobachtungsreihe sind doch ganz beträchtliche Werte als absolute Maxima der Windgeschwindigkeit zur Aufzeichnung gekommen. Für die einzelnen Monate ergeben sich aus der ganzen 26monatigen Beobachtungsreihe die in der Tabelle 14 zusammengestellten absoluten Maxima.

Aus dieser konnten für die vier Hauptrichtungen und Jahreszeiten nachfolgende Werte abgeleitet werden, wobei zu bemerken ist, daß die in der reinen N- oder S-Richtung eingetragenen Werte dem anliegenden östlichen oder westlichen Quadranten zugezählt wurden, je nach den in den nächstgelegenen Stunden vorherrschenden Windrichtungen.

Tabelle 14.

Absolute Maxima der Windgeschwindigkeit

(aus 26 Monaten, Juli 1912 bis August 1914).

	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
N	74	90	73	70	100	68	61	63	74	70	78	75	100
NNE	90	94	83	74	66	61	62	61	77	39	88	101	101
NE	60	95	58	40	58	66	70	47	66	56	69	64	95
ENE	51	87	96	43	44	50	63	54	45	64	80	64	96
E	52	31	28	20	25	38	55	29	43	24	50	29	55
ESE	36	39	34	31	31	37	42	39	29	42	56	13	56
SE	49	38	37	34	28	30	30	25	29	29	40	17	49
SSE	66	84	62	69	78	49	51	52	67	63	57	57	84
S	83	79	94	79	82	58	48	56	57	74	81	112	112
SSW	64	64	88	83	65	46	42	66	48	61	75	84	88
SW	54	53	79	56	62	46	63	58	76	61	79	90	90
WSW	56	50	59	47	58	43	66	50	68	58	57	41	68
W	20	25	63	38	33	35	49	41	64	15	67	52	67
WNW	70	51	70	38	45	46	47	37	33	33	41	32	70
NW	67	59	82	45	61	56	49	53	48	46	65	59	82
NNW	90	66	72	80	109	65	84	81	73	50	72	69	109
Maximum	90	95	96	83	109	68	84	81	77	74	88	112	112

Absolute Maxima der Windgeschwindigkeit.

Kilometer pro Stunde.

	Bora	Scirocco	SW	NW
Winter	**101**	**84**	**112**	90
Frühling	96	82	94	**109**
Sommer	70	58	66	84
Herbst	88	67	81	74

Die Borastürme erreichen auf Pelagosa noch eine Maximalstärke von 101 *km* pro Stunde oder 28·1 *m* pro Sek. Die größte Windgeschwindigkeit bei Scirocco kommt in Pelagosa auf den Stundenwert von 84 *km* (23·3 *m* pro Sek.), also weniger als in Porer, wo in einem fünfjährigen Zeitraum eine Windgeschwindigkeit von 102 *km* pro Stunde erreicht wurde, und in Lesina, wo aus einer 15 jährigen Beobachtungsreihe das absolute Maximum mit 114 *km* pro Stunde (31·7 *m* pro Sek.) resultierte.

Die größten Geschwindigkeiten erreichen auf Pelagosa die westlichen Windrichtungen. Bei den SW-Stürmen kann ein Maximum von 112 *km* pro St. (31·1 *m* pro Sek.) und bei den NW-Stürmen ein solches von 109 *km* (30·3 *m* pro Sek.) hervorgehoben werden, also beträchtliche Werte, welche die in größeren Beobachtungszeiträumen aufgezeichneten Maximalwerte in diesen Windrichtungen bei Porer und Lesina überschreiten.

Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen.

Aus den kontinuierlichen Aufzeichnungen der zwei Jahre, September 1912 bis inklusive August 1914, wurden für jede einzelne Stunde die Häufigkeiten jeder der 16 Windrichtungen, einschließlich der Windstillen, zusammengestellt. Die diesbezüglichen Summen für die vier Jahreszeiten und das Jahr finden sich im Anhang, in den Tabellen VII bis XI.

Aus diesen soll vorerst die allgemeine Verteilung der einzelnen Windrichtungen entnommen werden. Zur leichteren Übersicht werden die in den Tabellen ersichtlichen Mittelwerte in Prozente umgerechnet und in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

Mittlere Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen.

In Prozenten ausgedrückt.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Kalmen
Winter . . .	10·9	7·4	4·6	6·0	2·9	1·9	1·3	4·3	17·1	5·8	5·2	3·6	1·5	3·0	10·7	12·9	0·9
Frühling . . .	9·5	3·7	2·6	2·8	1·5	2·3	1·7	14·2	17·1	5·4	4·7	3·9	2·3	4·4	11·2	11·8	0·9
Sommer . . .	9·8	4·1	3·1	2·4	3·1	2·7	2·7	9·5	11·1	2·2	2·5	3·7	2·4	6·5	15·0	15·0	4·2
Herbst . . .	9·2	4·9	3·9	4·8	2·5	1·7	1·6	7·9	17·7	3·7	5·1	2·5	0·8	3·4	12·5	16·0	1·8
Jahr	9·8	5·0	3·6	4·0	2·5	2·2	1·8	9·0	15·8	4·3	4·4	3·4	1·7	4·3	12·3	13·9	2·0

Man ersieht daraus, daß im allgemeinen auf Pelagosa der S-Wind die größte Häufigkeit mit 16% erreicht, sodann die NNW-Richtung mit 14%, der NW-Wind mit 12%; dem N-Wind kommen 10% und der SSE-Richtung 9% zu. Diese fünf Richtungen nehmen bereits 61% sämtlicher Fälle in Anspruch. Die übrigen 39% verteilen sich mit 5% auf den NNE, je 4% kommen den SW, SSW, WNW, ENE und NE zu, je 3% fallen auf den WSW und E und mit nur 2% kommen der ESE, SE und W-Wind vor. Windstillen sind nur bei 2% sämtlicher Beobachtungsstunden zu entnehmen.

Im Winter kommen am häufigsten der S-Wind (17%) und die Richtungen aus N (11%), NNW (13%) und NW (11%) vor. Im Frühling sind die S- (17%) und SSE-Richtungen (14%), wie auch die Winde aus NNW (12%) und NW (11%) die häufigsten. Im Sommer überwiegen der NW- und NNW-Wind mit je 15% aller Fälle, die Häufigkeit des S-Windes folgt mit 11%. Im Herbst überwiegt wieder der S-Wind mit 18%, diesem folgen der NNW mit 16% und der NW mit 13%.

Reduzieren wir die Häufigkeitsgrößen auf die acht Hauptwindrichtungen, wie sie in der nächstfolgenden Tabelle zusammengestellt erscheinen, so ergibt sich im Winter die größte Frequenz für die S- und N-Richtung, mit 22 beziehungsweise 21%. Im Frühling ist der S-Wind der überwiegende, mit 27% und im Sommer der NW-Wind mit 26% sämtlicher Fälle der entsprechenden Jahreszeit. Im Herbst kommt das Übergewicht neuerdings dem S-Wind mit 24% zu, doch erreicht der NW-Wind nahezu die gleiche Häufigkeit mit 22% und der N-Wind 20%. Im Jahresdurchschnitt kommen demnach der S- und NW-Wind mit nahezu gleicher prozentueller Häufigkeit vor, 22%, der N-Wind mit 19%.

Häufigkeit der acht Hauptwindrichtungen.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Kalmen
Winter . . .	**21·0**	**11·3**	**6·9**	4·4	22·1	**9·8**	4·8	18·8	0·9
Frühling . . .	17·4	5·8	4·1	**9·8**	**26·9**	9·3	6·5	19·3	0·9
Sommer . . .	19·4	6·4	5·6	8·8	17·0	5·4	**7·5**	**25·7**	**4·2**
Herbst . . .	19·6	8·8	5·8	6·3	23·5	8·2	3·9	22·1	1·8
Jahr	19·3	8·1	5·6	7·3	22·4	8·2	5·6	21·5	2·0

Aus dieser Tabelle folgt noch, daß die Winde aus N, NE und E ihre größte Frequenz im Winter aufweisen, die Winde aus SE und S im Frühling, der SW zeigt ein häufigeres Vorkommen zwar auch im Frühling, doch ein etwas größeres im Winter, während die Winde aus W und NW ihre größte Häufigkeit im Sommer erreichen.

Bestimmen wir die Häufigkeit nur nach den vier Quadranten NE, SE, SW und NW getrennt, so ergibt sich vorerst durch alle vier Jahreszeiten die größte Frequenz für die Winde des NW-Quadranten. Die Winde aus dem Boraquadranten erreichen im Winter ihre größte Häufigkeit, die des Scirocco- und SW-Quadranten im Frühling, während die Winde des NW-Quadranten im Sommer ihre größte Frequenz aufweisen.

Häufigkeit der Winde in den vier Quadranten.

	NE	SE	SW	NW	Kalmen
Winter . . .	**25**	19	23	32	1
Frühling . . .	17	**25**	**26**	31	1
Sommer . . .	19	20	18	**39**	**4**
Herbst . . .	21	21	22	34	2
Jahr	21	21	22	34	2

Windstillen sind im Sommer am häufigsten, mit $4^0/_0$; sie erreichen im Herbst nur mehr $2^0/_0$ und im Winter und Frühling kaum $1^0/_0$ sämtlicher Beobachtungsstunden.

Gehen wir nun zu einer Erörterung der Verteilung der Häufigkeitsgrößen nach den einzelnen Tagesstunden über. Zur übersichtlicheren Darstellung wurden die stündlichen Häufigkeiten der Anhangtabellen VII bis XI von 2 zu 2 Stunden vereinigt, die 16 Windrichtungen auf die 8 Hauptrichtungen reduziert, indem die Frequenzzahlen der Zwischenrichtungen zur Hälfte der vorangehenden, zur Hälfte der nachfolgenden Hauptrichtung zugezählt wurden. Aus den erhaltenen Werten wurden die prozentuellen Häufigkeiten bestimmt, und zwar nach Prozenten der in den einzelnen Stunden des entsprechenden Zeitraumes, Jahreszeit oder Jahr, vorliegenden Gesamtanzahl der Aufzeichnungen. Die Resultate finden sich in den Tabellen 15 bis 19. In diesen Tabellen wurden für die einzelnen Windrichtungen die Häufigkeiten, die größer als der hiezugehörige Mittelwert sind, durch Druck hervorgehoben.

Eine direkte Rechtsdrehung der Windrichtung im Laufe des Tages ist bei Pelagosa nicht zu ersehen.

Tabelle 15.

Windhäufigkeiten der acht Hauptrichtungen — Winter.

In Prozenten.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Kalmen
1^h a.	19·4	10·6	6·6	4·3	19·4	**10·3**	**7·1**	**21·4**	0·9
3	20·3	**11·7**	**8·3**	2·9	19·1	**10·0**	**5·1**	**21·4**	**1·2**
5	18·6	**12·6**	6·0	3·4	20·6	9·4	**7·7**	**20·6**	**1·1**
7	**21·1**	**12·3**	**7·7**	**5·7**	20·3	**10·6**	4·0	18·0	0·3
9	**21·7**	10·3	**7·7**	**4·9**	**24·6**	**10·0**	3·1	16·9	0·8
11	19·4	10·6	**7·4**	**4·6**	**23·4**	**11·7**	3·7	18·0	**1·2**
1^h p.	20·6	10·3	5·1	**6·3**	**24·6**	**11·4**	4·6	16·3	0·8
3	**23·4**	10·6	6·0	3·7	**25·4**	8·3	**4·9**	17·4	0·3
5	**23·4**	**11·4**	**7·4**	**4·6**	**23·7**	8·0	3·4	17·1	**1·0**
7	**24·0**	**12·3**	6·3	**5·1**	21·7	8·3	4·0	16·6	**1·7**
9	20·0	**13·4**	6·3	3·4	**22·6**	8·6	**4·9**	**19·7**	**1·1**
11	19·7	10·0	**7·7**	3·7	20·0	**11·4**	**4·9**	**21·7**	0·9
Mittel	21·0	11·3	6·9	4·4	22·1	9·8	4·8	18·8	0·9

Tabelle 16.

Windhäufigkeiten der acht Hauptrichtungen — Frühling.

In Prozenten.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Kalmen
1ʰ a.	16·1	5·8	**5·0**	9·4	23·6	**13·9**	**8·9**	16·1	**1·2**
3	**19·2**	**6·1**	**4·4**	**10·6**	21·4	10·8	**10·0**	16·1	**1·4**
5	**18·9**	**7·5**	**5·6**	9·4	21·9	**9·7**	**8·3**	17·5	**1·2**
7	16·4	**7·2**	**4·2**	9·7	26·4	**11·1**	5·8	18·3	0·9
9	16·1	**6·7**	3·6	8·6	**30·3**	**10·8**	**6·7**	16·1	**1·1**
11	15·0	**6·1**	**4·4**	9·4	**28·9**	9·2	**6·9**	18·3	**1·8**
1ʰ p.	16·7	**6·1**	**4·7**	**11·7**	**27·5**	6·9	5·8	**20·6**	0·0
3	15·8	4·7	3·6	**12·2**	**27·2**	6·7	5·0	**23·6**	**1·2**
5	**18·3**	3·6	**4·2**	**11·4**	**28·1**	5·8	3·9	**23·9**	0·8
7	**18·9**	4·4	3·6	**11·1**	**29·2**	5·6	3·3	**23·3**	0·6
9	**18·9**	5·6	1·9	7·5	**31·4**	9·2	5·8	**19·4**	0·3
11	**18·1**	5·6	3·9	6·9	**27·2**	**12·2**	**7·5**	17·8	0·8
Mittel	17·4	5·8	4·1	9·8	26·9	9·3	6·5	19·3	0·9

Tabelle 17.

Windhäufigkeiten der acht Hauptrichtungen — Sommer.

In Prozenten.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Kalmen
1ʰ a.	17·4	5·1	**6·0**	8·0	13·7	**9·7**	**11·7**	24·9	3·8
3	**20·6**	**7·4**	5·1	**10·3**	8·9	**8·0**	**9·7**	**26·3**	3·7
5	**22·3**	**8·6**	**6·3**	**10·9**	9·7	5·4	7·1	24·9	**4·8**
7	**21·7**	**7·1**	**5·7**	6·9	16·6	5·4	**8·0**	23·4	**5·2**
9	18·3	**7·4**	**6·0**	7·7	**17·1**	**7·4**	**9·7**	21·7	**4·7**
11	17·7	6·3	5·1	7·7	**18·9**	4·0	**9·7**	24·9	**5·7**
1ʰ p.	16·3	2·9	**6·0**	**10·0**	**19·7**	2·3	**8·6**	**30·0**	4·2
3	19·1	4·6	**6·3**	**10·3**	**18·9**	2·3	4·6	**30·9**	3·0
5	**20·6**	5·4	**6·3**	**10·3**	**18·9**	2·3	3·1	**28·6**	**4·5**
7	**23·1**	**6·6**	4·9	**9·7**	**20·6**	4·6	3·1	24·0	3·4
9	18·9	**6·9**	3·1	7·7	**23·1**	5·4	6·0	24·0	**4·9**
11	17·1	**7·4**	**6·6**	6·6	**18·3**	**8·0**	**8·0**	24·9	3·1
Mittel	19·4	6·4	5·6	8·8	17·0	5·4	7·5	25·7	4·2

Aus der Jahrestabelle 19 wäre zu entnehmen, daß die Winde aus N und NW ihre größere Häufigkeit in den Nachmittagsstunden aufweisen, die NE- und E-Winde morgens und vormittags. Die Winde aus SE und S zeigen im allgemeinen eine größere Frequenz nachmittags, während die Richtungen SW und W in den Morgenstunden häufiger vorkommen.

Tabelle 18.

Windhäufigkeiten der acht Hauptrichtungen — Herbst.

In Prozenten.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Kalmen
1^h a.	**20·4**	**10·3**	4·5	5·3	20·4	**9·2**	3·6	**24·6**	1·7
3	**20·1**	**9·5**	5·3	**6·7**	19·6	**8·9**	3·9	**23·7**	**2·3**
5	17·4	**11·2**	**6·1**	**6·7**	19·6	**8·9**	3·4	**24·3**	**2·2**
7	18·4	**10·1**	**8·9**	4·2	20·7	**9·8**	2·2	**22·3**	**3·4**
9	16·5	**10·1**	**6·4**	5·6	**24·3**	**9·8**	**5·6**	20·1	1·6
11	16·8	8·7	5·0	5·9	**29·1**	7·0	**4·7**	21·8	1·0
1^h p.	**21·8**	6·1	5·6	**6·7**	**27·7**	5·9	**5·6**	20·4	0·2
3	**24·0**	6·1	**5·9**	**7·8**	**27·9**	3·3	3·4	19·3	**2·3**
5	**22·3**	7·0	**6·2**	**9·2**	**24·9**	5·9	2·2	20·9	1·4
7	**20·9**	7·3	**6·2**	**8·7**	22·6	7·3	2·2	**23·5**	1·3
9	18·2	**9·8**	4·5	5·6	22·9	**10·6**	3·9	**22·9**	1·6
11	18·4	**8·9**	5·3	3·6	22·1	**11·5**	**5·6**	21·8	**2·8**
Mittel	19·6	8·8	5·8	6·3	23·5	8·2	3·9	22·1	1·8

Tabelle 19.

Windhäufigkeiten der acht Hauptrichtungen — Jahr.

In Prozenten.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Kalmen
1^h a.	18·3	8·0	5·5	6·7	19·5	**10·8**	**7·8**	**21·7**	1·7
3	**20·0**	**8·7**	**5·7**	**7·7**	17·2	**9·5**	**7·1**	**21·9**	**2·2**
5	19·3	**9·9**	**6·0**	**7·6**	18·0	**8·4**	**6·6**	**21·8**	**2·4**
7	19·3	**9·2**	**6·6**	6·6	21·0	**9·2**	5·0	20·6	**2·5**
9	18·1	**8·7**	**6·0**	6·6	**24·1**	**9·5**	**6·3**	18·7	2·0
11	17·1	8·0	5·4	7·0	**25·0**	7·9	**6·4**	20·7	**2·5**
1^h p.	18·8	6·4	5·3	**8·7**	**24·9**	6·6	**6·1**	**21·9**	1·3
3	**20·6**	6·6	5·4	**8·5**	**24·9**	5·1	4·4	**22·8**	1·7
5	**21·2**	6·8	**6·1**	**8·9**	**23·8**	5·6	3·2	**22·6**	1·8
7	**21·7**	7·7	5·1	**8·7**	**23·6**	6·3	3·1	**21·9**	1·9
9	19·0	**8·8**	3·9	6·1	**24·9**	**8·6**	5·1	21·5	**2·1**
11	18·3	7·9	**5·9**	5·1	21·9	**10·9**	**6·5**	21·5	2·0
Mittel	19·3	8·1	5·6	7·3	22·4	8·2	5·6	21·5	2·0

Bestimmen wir in Anbetracht der Kürze der Beobachtungsreihe die prozentuellen Häufigkeiten für je sechsstündige Zeitintervalle, 1 bis 6^h morgens, 7^h vormittags bis Mittag, von 1 bis 6^h nachmittags und von 7^h abends bis Mitternacht, so erhalten wir in der Tabelle 20 eine übersichtlichere Darstellung der Verteilung der Häufigkeitsgrößen im Laufe des Tages.

Tabelle 20.

Windhäufigkeit in Prozenten

nach vier Tagesabschnitten getrennt.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Kalmen
				Winter					
1h a.— 6h	19·4*	11·6	7·0	3·5*	19·7*	9·9	**6·6**	**21·2**	1·1
7 —12	20·7	11·1	**7·6**	**5·0**	22·8	**10·8**	3·6*	17·6	0·8
1h p.— 6	**22·5**	10·8*	6·1*	4·9	**24·6**	9·2*	4·3	16·9*	0·7
7 —12	21·3	**11·9**	6·8	4·1	21·4	9·4	4·6	19·3	**1·2**
				Frühling					
1h a.— 6h	18·1	6·4	**5·0**	9·8	22·3*	**11·5**	**9·1**	16·5*	**1·3**
7 —12	15·8*	**6·7**	4·1	9·2	28·5	10·3	6·5	17·6	**1·3**
1h p.— 6	16·9	4·8*	4·2	**11·8**	27·6	6·4*	4·9*	**22·7**	0·7
7 —12	**18·6**	5·2	3·1*	8·5*	**29·3**	9·0	5·5	20·2	0·6
				Sommer					
1h a.— 6h	**20·1**	**7·0**	5·8	9·7	10·8*	**7·7**	**9·5**	25·4	4·0
7 —12	19·2	6·9	5·6	7·5*	17·5	5·6	9·2	23·3*	**5·2**
1h p.— 6	18·7*	4·3*	**6·2**	**10·2**	19·2	2·3*	5·4*	**29·8**	3·9
7 —12	19·7	**7·0**	4·9*	8·0	**20·6**	6·0	5·7	24·3	3·8
				Herbst					
1h a.— 6h	19·4	**10·3**	5·3*	6·2	19·9*	9·0	3·6*	**24·2**	**2·1**
7 —12	17·2*	9·6	**6·8**	5·2*	24·7	8·9	**4·2**	21·4	2·0
1h p.— 6	**22·7**	6·4*	5·9	**7·9**	**26·9**	5·0*	3·7	20·2*	1·3
7 —12	19·2	8·7	5·3*	6·0	22·5	**9·8**	3·9	22·7	1·9
				Jahr					
1h a.— 6h	19·2	**8·9**	5·7	7·3	18·2*	**9·6**	**7·2**	21·8	2·1
7 —12	18·2*	8·6	**6·0**	6·7	23·4	8·9	5·9	20·0*	**2·3**
1h p.— 6	**20·2**	6·6*	5·6	**8·7**	**24·5**	5·8*	4·6*	**22·4**	1·6
7 —12	19·7	8·1	5·0*	6·6*	23·5	8·6	4·9	21·6	2·0

Aus diesen lassen sich mit kurzen Schlagworten nachstehende Ergebnisse hervorheben:

Der N-Wind zeigt die größere Häufigkeit in den Nachmittagstunden, die kleinere ist vormittags zu entnehmen. In den Jahreszeiten verschiebt sich das Maximum der Frequenz mit dem Vorschreiten der Jahreszeit auf die Nacht- und Morgenstunden, im Winter fällt dasselbe auf den Nachmittag, im Frühling auf die ersten Nachtstunden, im Sommer ist das Maximum morgens, im Herbst wieder in den Nachmittagstunden zu entnehmen. Auch die kleinste Häufigkeit, die im Winter in den Morgenstunden zu bemerken ist, kommt im Frühling vormittags vor, im Sommer nachmittags, um sich im Herbst wieder auf die Vormittagstunden zu verlegen.

Die Winde aus NE zeigen morgens und vormittags die größte Häufigkeit, nachmittags die kleinste. Im Winter und Sommer fällt die größte Frequenz auf die Nacht- und Morgenstunden, im Frühling und Herbst auf die Morgen- und Vormittagstunden. In allen vier Jahreszeiten zeigt der NE-Wind in den Nachmittagstunden die geringste Frequenz.

Der E-Wind ist vormittags am häufigsten, abends wird die Frequenz geringer. Im Winter ist die Häufigkeit dieses Windes morgens und vormittags die größere, im Frühling morgens, im Herbst vormittags, im Sommer hingegen eher nachmittags. Die geringste Frequenz findet im Winter nachmittags statt, in den übrigen Jahreszeiten in den Abendstunden.

Der SE-Wind zeigt in den Nachmittagstunden ein häufigeres Vorkommen, in den ersten Nachtstunden ein geringeres. Im Winter ist die größere Häufigkeit tagsüber zu entnehmen, in den übrigen Jahreszeiten in den Nachmittagstunden.

Die Winde aus S kommen nachmittags häufiger vor, die kleinere Frequenz ist morgens zu entnehmen. Die gleiche Verteilung ist im Winter und Herbst zu ersehen, im Frühling und Sommer ist hingegen die größere Frequenz in den Abendstunden zu bemerken. Die geringere Häufigkeit fällt in allen Jahreszeiten auf die Morgenstunden.

Der SW-Wind ist morgens häufiger, nachmittags seltener. Im Winter fällt die größere Häufigkeit auf den Vormittag, im Frühling und Sommer auf die Morgenstunden, im Herbst nachts über. Die geringste Frequenz ist bei der SW-Richtung durch alle vier Jahreszeiten in den Nachmittagstunden zu entnehmen.

W-Winde sind ebenso morgens häufiger, nachmittags seltener. Diese Windrichtung kommt im Winter, Frühling und Sommer am häufigsten morgens vor, am geringsten tagsüber, namentlich nachmittags. Im Herbst wäre vormittags eine größere Frequenz zu bemerken.

Die Richtung aus NW zeigt ein häufigeres Vorkommen nachmittags, am Vormittag wird die Frequenz kleiner. Nach den Jahreszeiten getrennt, wäre die größere Frequenz im Frühling und Sommer nachmittags zu entnehmen, während im Winter und Herbst dieselbe auf die Morgenstunden fällt. Die NW-Winde kommen im Winter und Herbst nachmittags seltener vor, im Frühling hingegen des Morgens und im Sommer in den Vormittagstunden.

Windstillen sind im Jahresdurchschnitt vormittags häufiger, nachmittags seltener, doch erreichen dieselbe nur eine Frequenz von 2 % sämtlicher Beobachtungen. Im Sommer ist die Häufigkeit der Kalmen etwas größer, sie kommt vormittags auf 5 %. Im Winter ist die größere Häufigkeit der Windstillen nachtsüber zu entnehmen, im Herbst und Frühling morgens und vormittags.

Aus den Tabellen 15 bis 19 soll noch der Unterschied bestimmt werden zwischen der größten und kleinsten prozentuellen Häufigkeit. Die Schwankungen sind auf p. 39 [363] ersichtlich.

Die größte Schwankung kommt bei dem S-Wind vor. Die größten Differenzen in der prozentuellen Häufigkeit fallen bei den einzelnen Windrichtungen entweder auf den Sommer oder auf den Herbst. Im Winter ist bei allen Windrichtungen die Schwankung relativ gering.

Windwege in den einzelnen Windrichtungen.

Im Anhang werden in den Tabellen XII bis XVI die Summen der Windwege der zwei Beobachtungsjahre, September 1912 bis inklusive August 1914, für die einzelnen Stunden und Wind-

Schwankungen im täglichen Gange der Windhäufigkeit.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Winter	5·4	3·4	3·2	3·4	6·3	3·7	4·6	5·4
Frühling	4·2	3·9	3·7	5·3	10·0	**8·3**	6·7	7·8
Sommer	6·8	**5·7**	3·5	4·3	**14·2**	7·4	**8·6**	**9·2**
Herbst	**7·5**	5·1	**4·4**	**5·6**	9·5	**8·2**	3·4	5·3
Jahr	4·6	3·5	2·7	3·8	7·8	5·8	4·7	4·1

richtungen mitgeteilt, um eine Fortsetzung dieser Untersuchungen bei einer eventuellen Wiederaufnahme der kontinuierlichen Windaufzeichnungen auf Pelagosa zu erleichtern.

Aus den Jahressummen sollen vorerst die Windwege für ein Jahr in den einzelnen Windrichtungen entnommen werden. Es ergeben sich für Pelagosa bei einer Jahressumme von 219283 *km* bei:

N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
26544·0	13543·5	7451·5	10588·5	3484·5	2654·0	2177·5	21385·5
S	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**
39324·0	8269·5	9336·0	5407·0	2061·0	6061·0	24420·0	36575·5 *km.*

In Prozenten der Gesamtwindwege resultieren für die einzelnen Windrichtungen:

N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
12·1	6·2	3·4	4·8	1·6	1·2	1·0	9·7
S	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**
17·9	3·8	4·3	2·5	0·9	2·8	11·1	16·7

Die größte Kilometeranzahl wird auf Pelagosa bei der S- und NNW-Richtung erreicht, mit 18 beziehungsweise 17 % sämtlicher Windwege, die kleinste bei den SE- und W-Richtungen mit nur 1 %. In der ENE-Richtung — Bora — werden bei Pelagosa nur 5 % des gesamten Windweges zurückgelegt.

Bestimmen wir von den Mittelwerten der Tabelle XII bis XV die Windwege der einzelnen Windrichtungen der vier Jahreszeiten, in Prozenten des im betreffenden Jahresteil zurückgelegten Gesamtwindweges ausgedrückt, so ergeben sich folgende

prozentuelle Windwege:

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Winter .	10·7	11·0	5·2	7·8	2·2	1·0	0·7	4·7	20·0	4·6	4·4	1·9	0·7	2·0	8·9	14·2
Frühling	13·0	4·2	1·8	3·3	0·6	1·2	0·9	15·9	20·1	4·7	4·4	2·8	1·1	2·6	9·9	13·5
Sommer	13·7	3·6	2·8	1·9	2·1	1·5	1·7	9·5	10·3	1·6	2·8	3·2	1·5	5·0	16·0	22·8
Herbst .	11·3	5·4	3·8	5·8	1·6	1·1	0·8	8·7	20·0	3·7	5·2	2·1	0·5	1·9	10·6	17·5

In allen vier Jahreszeiten werden die größten Windwege in der S- und NNW-Richtung zurückgelegt, die kleinsten in der SE- und W-Richtung. Die zurückgelegte Kilometeranzahl in der S-Richtung, die im Winter, Frühling und Herbst 20 % des Gesamtwindweges erreicht, sinkt jedoch im Sommer auf nur 10 %, während sie bei der NNW-Richtung vom Winter mit 14 %, auf den Sommer mit 23 % ansteigt. In der Borarichtung wird der relativ größte Windweg im Winter erreicht, bei den südöstlichen Richtungen im Sommer und Frühling, bei den westlichen und nordwestlichen Winden im Sommer.

Vereinigen wir der besseren Übersicht halber die prozentuellen Windwege nach den vier Windquadranten

Prozentuelle Windwege.

	NE	SE	SW	NW
Winter	**30**	18	21	31
Frühling	16	**28**	**23**	33
Sommer	16	19	14	**51**
Herbst	22	21	21	36
Jahr	21	22	20	37

so ist zu allen Jahreszeiten das Übergewicht der NW-Richtung zu ersehen, im Winter zeigt auch die NE-Richtung einen fast gleichgroßen Windweg. Die Winde des ersten Quadranten erreichen im Winter ihren größten Windweg, mit 30 % der in dieser Jahreszeit resultierenden Kilometeranzahl, die des zweiten und dritten Quadranten im Frühling mit 28 beziehungsweise 23 %, während die Winde des vierten Quadranten ihren größten Windweg im Sommer aufweisen, in welcher Jahreszeit die Hälfte der zurückgelegten Windwege, 51 %, diesen nordwestlichen Winden zukommt.

Um die verschiedenen Längen der einzelnen Jahreszeiten, wie auch die durch einzelne, allerdings geringe Lücken in den Aufzeichnungen verursachten Unterschiede in der Anzahl der Beobachtungstage auszugleichen, wurden die zurückgelegten Windwege in den einzelnen Richtungen für je zehn Tage berechnet.

Mittlere Windwege in den einzelnen Windrichtungen
auf 10 Tage reduziert, in Kilometern ausgedrückt.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Winter .	716·6	**733·3**	**348·0**	**518·5**	**148·7**	69·7	47·7	316·2	**1336·6**	309·7	292·1	127·5	49·1	129·9	598·3	951·1
Frühling	**846·7**	274·3	117·3	218·1	40·1	76·9	57·2	**1039·2**	1316·1	**310·0**	289·6	**180·8**	73·4	168·9	645·9	884·2
Sommer	740·7	194·9	148·7	103·9	111·4	**85·4**	**89·8**	512·7	555·8	88·0	151·5	173·2	**82·5**	**272·2**	**864·7**	**1230·2**
Herbst .	689·6	329·9	229·0	355·3	94·7	67·5	51·3	534·1	1220·2	223·4	**318·2**	128·3	27·8	114·2	648·5	1065·0
Jahr . .	748·8	382·0	210·2	298·7	98·3	74·9	61·4	603·3	1109·3	233·3	263·4	152·5	58·1	171·0	688·9	1031·7

In den einzelnen Jahreszeiten und im Jahresdurchschnitt resultieren für je 10 Tage nachstehende Windwege:

Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
6695·0	6538·7	5405·6	6097·0	6185·8

Im Jahresmittel werden an einem Tage in der S-Richtung 111 *km* zurückgelegt, in der NNW-Richtung 103 *km*, in der SE- und W-Richtung nur 6 *km*.

In den einzelnen Jahreszeiten werden im Winter, Frühling und Herbst die größten Windwege auch bei der S-Richtung erreicht, und zwar 134 *km* beziehungsweise 132 und 122 *km* pro Tag, im Sommer hingegen bei der NNW-Richtung mit 123 *km*.

Betrachten wir die einzelnen Windrichtungen, so ergeben sich bei Bora die relativ größten Windwege im Winter, bei dem NNE mit 73 *km*, beim ENE mit 52 *km* pro Tag, die nordwestlichen Richtungen zeigen hingegen die größten mittleren Windwege im Sommer, der NW mit 86, der NNW mit 123 *km* in einem Tage.

Gehen wir nun zu einer kurzen Erörterung der Windwege im Verlaufe eines Tages über. Zu diesem Zwecke wurden die Windwege der Anhangtabellen XII bis XVI von zwei zu zwei Stunden vereinigt und die erhaltenen Windsummen, da hier zwei Beobachtungsjahre vorliegen, durch 4 dividiert, um die Windwege einer Stunde für die entsprechende Jahreszeit beziehungsweise Jahr zu erhalten. Die 16 Windrichtungen wurden sodann auf vier Komponenten reduziert und zwar zur Erleichterung der Vergleiche mit den bisher für die Adria dargestellten Windwegen auf die Richtungen NE, SE, SW und NW. Die Reduktionen wurden nach den Formeln:

$$NE + NNE \cos 22{^\circ}5 + N \cos 45^\circ + NNW \cos 67{^\circ}5$$
$$+ ENE \cos 22{^\circ}5 + E \cos 45^\circ + ESE \cos 67{^\circ}5 \text{ usw.}$$

vorgenommen.

Tabelle 21.

Mittlere Windwege auf vier Komponenten reduziert.

	Winter				Frühling				Sommer				Herbst			
	NE	SE	SW	NW	NE	SE	SW	NW	NE	SE	SW	NW	NE	SE	SW	NW
1h a.	860	595	662	**988**	**654**	766	**953**	895	527	384	**542**	**1099**	**796**	569	**683**	**1012**
3	**927**	609	655	**1039**	**652**	721	**840**	**939**	**581**	338	418	**1139**	**786**	556	614	**996**
5	913	603	**684**	**1015**	**669**	759	763	908	**668**	388	352	**1087**	**767**	544	592	**961**
7	**975**	**689**	**676**	**927**	**629**	830	801	849	**597**	399	**433**	989	**778**	607	616	862
9	**923**	**749**	**732**	844	580	**855**	**841**	819	533	390	401	938	656	652	**669**	820
11	851	**682**	**725**	788	490	**846**	811	819	464	375	315	950	562	**680**	637	790
1h p.	804	**662**	**709**	790	499	842	695	868	414	418	352	1021	580	**694**	617	859
3	861	629	630	842	475	**875**	653	**936**	507	**439**	330	**1180**	590	**721**	563	862
5	**922**	**648**	617	825	538	**922**	719	**1024**	**564**	**535**	371	**1224**	603	**787**	657	883
7	**1029**	**648**	666	890	**626**	**981**	799	**1030**	**654**	**573**	**454**	**1173**	657	**779**	**724**	**928**
9	**993**	638	**677**	**928**	**620**	**930**	**978**	**973**	**624**	**540**	**523**	**1123**	**716**	**672**	**785**	**918**
11	**916**	604	653	**932**	**634**	808	**1003**	**948**	**565**	424	**522**	**1098**	**799**	615	**792**	**954**
Mittel	915	646	674	901	589	845	821	917	558	434	418	1085	691	656	662	904

	Jahr			
	NE	SE	SW	NW
1h a.	**2837**	2314	**2840**	**3994**
3	**2946**	2224	2527	**4113**
5	**3017**	2294	2391	**3971**
7	**2979**	2525	2526	3627
9	2692	**2646**	**2643**	3421
11	2367	**2583**	2488	3347
1h p.	2297	**2616**	2373	3538
3	2433	**2664**	2176	**3820**
5	2627	**2892**	2364	**3956**
7	**2966**	**2981**	**2643**	**4021**
9	**2953**	**2780**	**2963**	**3942**
11	**2914**	2451	**2970**	**3932**
Mittel	2752	2581	2575	3807

Die erhaltenen Windwege sind in der Tabelle 21 zusammengestellt. In dieser Tabelle sind die Windwege, die größer als die Mittelwerte sind, durch Druck hervorgehoben. Aus dieser Zusammenstellung lassen sich nachfolgende Ergebnisse hervorheben.

Bei der NE-Komponente werden nachtsüber, und zwar von 7^h abends bis 7^h früh, größere Windwege zurückgelegt als tagsüber. In den einzelnen Jahreszeiten ist im ganzen und großen dasselbe zu bemerken, namentlich im Frühling und Herbst. Im Winter und besonders im Sommer kommt eine Doppelschwankung, die in den übrigen Jahreszeiten, wie auch im Jahresmittel schon ersichtlich ist, mehr zur Geltung.

Die SE-Komponente zeigt tagsüber die größeren Windwege, und zwar von 9^h früh bis 9^h abends, nachtsüber werden kleinere Windwege zurückgelegt. In allen vier Jahreszeiten kommen die kleineren Windstärken der Nachtstunden zur Geltung. Doch ist die schon im Jahresmittel ersichtliche Doppelschwankung, mit den Maxima in den Vor- und Nachmittagstunden besonders im Winter und Frühling ausgeprägt.

Für die SW-Komponente sind im allgemeinen größere Windsummen nachtsüber zu bemerken, von 7^h abends bis 1^h früh, doch ist eine Zunahme der Windwege am Vormittag zu entnehmen, die namentlich im Winter zum Hauptmaximum wird. Minima werden in der Früh, namentlich aber nachmittags erreicht.

In der NW-Komponente ergibt sich die größere Kilometeranzahl nachmittags und nachts, von 3^h p. bis 5^h a. In den letzten Vormittagstunden sind die zurückgelegten Windwege am kleinsten. Das gleiche Verhalten zeigt sich in den einzelnen Jahreszeiten, namentlich im Sommer. Im Herbst beginnen die größeren Windwege erst um 7^h abends, im Winter noch später, 9^h abends, um in dieser Jahreszeit bis 7^h früh anzuhalten. Im Frühling sind bei dieser Komponente die größeren Werte auch von 3^h nachmittags bis 3^h früh zu ersehen, doch findet um 1^h nachts eine Abnahme derselben statt.

Auf die Doppelschwankung wird noch zurückgekommen werden, es soll hier nur zusammenfassend hervorgehoben werden, daß im allgemeinen die Windkomponenten des ersten Quadranten die größeren Werte nachtsüber, die des vierten Quadranten nachmittags und nachts erreichen. Die des dritten Quadranten zeigen auch nachtsüber größere Werte, mit einer sekundären Zunahme am Vormittag, während die Winde des zweiten Quadranten tagsüber, namentlich nachmittags, die größeren Windwege zurücklegen.

Bezüglich der täglichen Schwankungen kann aus dieser kurzen Beobachtungsreihe entnommen werden, daß im Winter und Sommer die NW-Komponente die größte Schwankung in der Windintensität aufweist, im Frühling die SW-Komponente und im Herbst die SE-Komponente.

Tägliche Amplitude.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
NE	225	194	254	237
SE	154	260	235	243
SW	115	350	227	229
NW	251	211	286	222

Die NE- und NW-Komponenten zeigen im Sommer ihre größte tägliche Schwankung, die zwe anderen, die SE- und SW-Komponente hingegen im Frühling.

In Berücksichtigung der doch zu kurzen Beobachtungsreihe werden hier nur für die Jahresmittelwerte die täglichen Perioden durch Sinusreihen dargestellt.

Die Gleichungen für die mittleren Jahreswindwege in den vier Hauptrichtungen sind nachfolgende:

NE . . . . $y = 2752 + 298 \sin (86°34' + x.30°) + 188 \sin (274°16' + x.60°)$
$+ 20 \sin (247° 8' + x.90°)$

$a_1 = 297·3$ $a_2 = -187·6$ $a_3 = -18·5$

$b_1 = 17·9$ $b_2 = 14·0$ $b_3 = -7·8$

SE . . . . $y = 2581 + 269 \sin(219°37' + x.30°) + 163 \sin(250°\ 3' + x.60°) + 37 \sin(\ 47°33' + x.90°)$

$a_1 = -171 \cdot 6$ $a_2 = -153 \cdot 5$ $a_3 = 27 \cdot 0$
$b_1 = -207 \cdot 3$ $b_2 = -55 \cdot 7$ $b_3 = 24 \cdot 7$

SW . . . . $y = 2575 + 238 \sin(107°45' + x.30°) + 232 \sin(182°18' + x.60°) + 20 \sin(\ 96°33' + x \cdot 90°)$

$a_1 = 227 \cdot 0$ $a_2 = -9 \cdot 3$ $a_3 = 20 \cdot 0$
$b_1 = -72 \cdot 7$ $b_2 = -231 \cdot 8$ $b_3 = -2 \cdot 3$

NW . . . . $y = 3807 + 296 \sin(123°23' + x.30°) + 178 \sin(351°39' + x.60°) + 22 \sin(321°58' + x.90°)$

$a_1 = 247 \cdot 4$ $a_2 = -25 \cdot 8$ $a_3 = -13 \cdot 3$
$b_1 = -163 \cdot 0$ $b_2 = 175 \cdot 8$ $b_3 = 17 \cdot 0$

$x = 0$ für 1^h a., $x = 1$ für 3^h a.

Der danach berechnete tägliche Gang findet sich in der Tabelle 22.

Bei der NE- und NW-Komponente sind, wie bereits erwähnt, die größten Windwege nachtsüber zu entnehmen. Die Gangkurve erhebt sich bei der NE-Komponente nach 5^h p. über den Mittelwert und sinkt erst vor 9^h a. unter denselben, bei der NW-Komponente liegt die Gangkurve von 3^h p. bis 6^h a. über dem Mittelwert. In beiden Fällen treten abends beziehungsweise nachts sekundäre Schwankungen auf.

Bei der SE- und SW-Komponente ist die doppelte tägliche Schwankung deutlicher ausgeprägt, die erstgenannte erreicht die größten Windwege vormittags und nachmittags, die letztere vormittags und nachtsüber. Das vormittägige Maximum ist bei beiden Komponenten das kleinere.

Tabelle 22.

Berechneter täglicher Gang für die mittleren Windwege in den vier Hauptkomponenten.

	Windwege				Täglicher Gang			
	NE	SE	SW	NW	NE	SE	SW	NW
1^h a.	2844*	2342	2813	4014	92*	—239	238	207
3	2929	2314*	2528	**4097**	177	—267*	— 47	**290**
5	**3040**	2407	2410*	3968	**288**	—174	—165*	161
7	2966	2572	2513	3653	214	— 9	— 62	—154
9	2683	**2671**	**2624**	3388	— 69	**90**	**49**	—419
11	2389	2608	2536	3363*	—363	27	— 39	—444*
1^h p.	2284*	2514*	2319	3548	—468*	— 67*	—256	—259
3	2411	2598	2212*	3797	—341	17	—363*	— 10
5	2676	2811	2348	3976	— 76	230	—227	169
7	2914	**2896**	2655	**4013**	162	**315**	80	**206**
9	**2985**	2741	2936	3946	**233**	160	361	139
11	2903	2498	**3006**	3921*	151	— 83	**431**	114*
Mittel	2752	2581	2575	3807	220	140	193	214

Die Eintrittszeiten der Extreme sind in der folgenden kleinen Tabelle zusammengestellt, die Hauptmaxima und Minima sind hervorgehoben.

Eintrittszeiten der Extreme der Windwege.

	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
NE	5^h a.	1^h p.	9^h p.	1^h a.
SE	9 a.	1 p.	7 p.	3 a.
SW	9 a.	3 p.	11 p.	5 a.
NW	3 a.	11 a.	7 p.	11 p.

In der SE- und SW-Komponente werden nahezu die gleichen Windwege zurückgelegt, bei der NE-Komponente einen kaum ein Zehntel größeren und bei der NW-Komponente einen fast fünf Zehntel größeren Windweg.

Die tägliche periodische Schwankung ist bei der SE-Komponente die kleinste, sowohl der Amplitude als auch der mittleren Ordinate nach.

	NE	SE	SW	NW
Amplitude	756	582	794	734
Mittlere Ordinate der täglichen Gangkurve	220	140	193	214

Zur Bestimmung der Lage und Größe der mittleren Windrichtung wurden die vier Komponenten vorerst auf die zwei Komponenten NE und NW reduziert und daraus nach $R = \sqrt{NE^2 + NW^2}$ und $tg\ \varphi = \frac{NE}{NW}$ die Größe und Richtung der Resultante abgeleitet. Die erhaltenen Werte sind in der Tabelle 23 zusammengestellt.

Tabelle 23.

Mittlere Windrichtung.

	Hauptkomponenten der Windwege		Tägliche Schwankung der mittleren Windrichtung	
	NE	NW	Azimut NE über NW	Resultante
1^h a.	31	1672	89°	1672
3	401	**1783**	77	**1828**
5	**630**	1561	68	1683
7	453	1081	67	1172
9	59	717*	85	719*
11	— 147*	755	101	769
1^h p.	— 35	1034	92	1035
3	199	**1199**	81	**1215**
5	**328**	1165	74	1210
7	259	1117*	77	1147*
9	49	1205	88	1206
11	— 103*	1423	94	1427
Mittel	177	1226	82°	1239

Die resultierende mittlere Windrichtung liegt bei NE 82° NW oder N 37° W. Im Laufe des Tages schwankt diese annähernd bei NW liegende Resultante zwischen den Richtungen NNW und annähernd WNW zweimal hin und her, wie aus den Azimuten zu entnehmen ist. Von 11^h nachts bis 7^h früh dreht sich die mittlere Windrichtung von NE 94° W (N 49° W) um 27° nach rechts bis NE 67° NW (N 22° W), sodann vormittags bis 11^h um 34° nach links auf NE 101° W (N 56° W).

Die hierauf eintretende neuerliche Rechtsdrehung um 27° hält bis 5^h nachmittags an, und zwar bis NE 74° NW (N 29° W), um sodann abermals bis 11^h nachts um 20° nach links zu drehen, auf NE 94° W (N 49° W).

Die Resultante erreicht ihren größten Wert um 3^h früh, den kleinsten um 9^h vormittags. Sekundäre Schwankungen treten noch nachmittags auf, mit dem Nebenmaximum um 3^h p. und dem Nebenminimum um 7^h abends. Die größeren Windwege werden demnach nachts und in den Morgenstunden erreicht, eine kleine Zunahme findet in den ersten Nachmittagstunden statt.

Es soll noch analog der Bearbeitung der Ergebnisse der Windmessungen auf der Seeleuchte Porer untersucht werden, wie sich in dieser kurzen Beobachtungsreihe die tägliche Drehung des Windes auf Pelagosa darstellen läßt, wenn die vorherrschende Windrichtung eliminiert wird. Eine eingehendere diesbezügliche Untersuchung kann erst nach der zu erhoffenden Neuaufstellung des Anemographen auf Pelagosa bei einer längeren Beobachtungsreihe folgen.

Zur Bestimmung der Richtung und Stärke der von der vorherrschenden Windrichtung befreiten Windkomponenten wurden vorerst die zwei Hauptkomponenten NE und NW aus den ersten zwei Vertikalreihen der Tabelle 23 bestimmt. Diese, wie auch die daraus abgeleiteten Azimute und Resultanten für die einzelnen Stunden sind in der Tabelle 24 ersichtlich.

Tabelle 24.

Windkomponente nach Ausscheidung der vorherrschenden Windrichtung.

	Hauptkomponente		Täglicher Gang	
	NE	NW	Azimute NE über SE	Resultante
1^h a.	— 146	446	252°	469
3	224	**557**	292	**600**
5	**453**	335	324	563
7	276	— 145	28	312*
9	— 118	— 509*	103	523
11	— 324*	— 471	125	**572**
1^h p.	— 212	— 192	138	286
3	22	— **27**	51	35*
5	**151**	— 61	22	163
7	82	— 109*	53	136
9	— 128	— 21	171	130
11	— 280*	197	215	342

Die von der mittleren Windrichtung befreite Komponente zeigt, wie aus den Azimuten zu ersehen ist, von 5^h nachmittags an, nachtsüber und vormittags, bis 1^h nachmittags eine anhaltende Rechtsdrehung. Von 1^h bis 5^h nachmittags dreht nach den bisherigen Beobachtungen der Wind nach links zurück.

Die größte Stärke erreicht diese Windkomponente um 3^h früh und 11^h vormittags, den kleinsten Wert um 3^h nachmittags.

Windgeschwindigkeiten in den einzelnen Windrichtungen.

Aus den in den Anhangtabellen VII—XVI enthaltenen stündlichen Werten für die Häufigkeit und Windwege wurden die mittleren Windgeschwindigkeiten für die einzelnen Stunden und Windrichtungen bestimmt, und zwar sowohl für die vier Jahreszeiten als auch für das Jahr. Die Tabellen werden hier

Tabelle 25.

Mittlere Windgeschwindigkeit — Winter.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	35·8	37·4	27·1	**41·4**	20·8	15·3	14·5	33·0	33·8	19·4	25·5	14·1	15·8	20·5	23·7	29·5
3	**36·9**	36·7*	20·3*	41·1	22·5	18·5	13·6	32·2	34·4	22·3	23·6	15·8	14·3	18·1	23·0	33·1
5	33·3	39·7	21·7	37·4	24·8	**23·4**	**15·6**	29·3	34·6	21·5	23·3	17·5	12·7	19·6	22·3	**34·9**
7	28·5	42·1	28·1	33·6	**26·5**	23·2	**15·7**	26·6*	**35·6**	20·9	23·1	19·3	9·9	20·2	22·7	34·2
9	25·2	42·0	36·6	32·3*	26·0	18·9	11·5	26·9	35·5	20·9	22·8	**21·1**	6·6*	16·7	23·5	32·3
11	24·1	40·6	37·6	32·4	22·6	13·3	8·8*	28·6	34·0	19·8	22·6	19·0	7·5	15·1	22·9	30·6
1h p.	23·6	41·4	29·7	33·4	18·9	13·3	9·6	29·7	32·1	19·5*	20·0	16·1	11·1	16·2	21·5	29·8
3	23·4*	43·0	28·6	33·6	18·1*	15·9	12·3	32·5	29·8	22·2	19·4*	13·7	10·4	14·1*	21·0*	29·4
5	24·7	43·4	34·2	35·8	18·5	12·7	15·4	33·7	29·6*	25·9	24·4	10·7*	8·3	14·8	21·6	28·7
7	26·2	44·4	36·3	40·4	20·6	10·0*	14·2	33·2	30·7	**27·8**	**27·8**	11·9	12·3	18·5	24·2	28·5
9	26·6	**44·8**	**38·1**	41·3	20·8	13·3	11·9	**34·5**	31·2	25·1	26·2	14·8	17·3	19·6	**25·8**	28·7
11	30·1	41·9	36·5	40·6	19·4	16·2	13·8	34·1	32·3	19·3*	25·7	14·6	**17·6**	**21·2**	24·6	28·2*
Mittel	28·2	41·5	31·2	36·9	21·6	16·2	13·1	31·2	32·8	22·1	23·7	15·7	12·0	17·9	23·1	30·7

Tabelle 26.

Mittlere Windgeschwindigkeit — Frühling.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	**39·6**	**35·6**	19·9	41·1	12·4	16·1	16·1	29·9	32·0	29·0	29·2	23·3	**17·7**	18·7	26·1	29·4
3	37·9	35·5	19·3	40·9	9·4	13·3	14·9	29·3*	34·2	23·1	26·7	**23·6**	17·6	16·4	24·7	30·1
5	37·2	33·0	17·5	38·0	9·2	11·2	14·7	29·8	**35·6**	20·4	22·9	22·4	14·0	13·0	22·6	32·8
7	37·6	31·6	18·7	32·6	8·9	8·6	10·6	30·6	33·8	21·3	19·7	20·0	9·7	10·9*	21·8*	**35·6**
9	36·9	31·3	16·9	26·9	9·1	5·6	6·6*	30·7	31·2	22·6	19·2*	18·5	8·1	12·0	23·0	35·0
11	35·0	30·0	12·3	23·3	10·4	5·1*	6·8	30·5	30·6	22·4	22·5	15·7	8·8	12·6	23·8	33·0
1h p.	32·0	28·2	11·1*	22·9*	10·4	8·8	10·2	30·7	30·2	19·1	27·7	11·1	8·7	12·2	22·9	32·7
3	31·2*	27·3	11·7	27·6	10·7	14·1	13·5	30·9	29·7*	17·4*	28·5	9·2*	7·4*	14·3	22·8	32·5
5	35·0	25·4	13·9	37·6	10·1	17·4	15·5	30·8	31·1	20·2	29·9	9·4	7·4	16·9	23·9	30·6
7	38·5	25·0*	20·8	**46·7**	8·4*	20·0	19·1	31·5	32·4	24·5	**34·3**	11·3	10·0	18·6	25·0	29·2
9	38·9	27·8	**22·3**	46·3	11·7	**21·1**	**22·0**	**31·7**	32·7	28·0	33·4	17·9	13·0	**21·7**	26·2	28·4*
11	39·4	31·7	18·9	41·8	**15·3**	19·1	20·2	30·8	32·1	**30·7**	30·5	22·7	15·3	21·6	**26·5**	28·7
Mittel	36·6	30·2	16·9	35·5	10·5	13·4	14·2	30·6	32·1	23·2	27·0	17·1	11·5	15·7	24·1	31·5

in Berücksichtigung des kurzen Beobachtungszeitraums nicht aufgenommen. Die erhaltenen Stundenwerte wurden von zwei zu zwei Stunden zusammengefaßt und einer Ausgleichung nach $(a + 2b + c):4$ unterzogen. Die danach erhaltenen mittleren Windgeschwindigkeiten in Kilometern pro Stunde sind in den Tabellen 25 bis 29 mitgeteilt.

Bevor zum täglichen Gange der mittleren Geschwindigkeit übergegangen werden soll, mögen vorerst die mittleren Geschwindigkeiten für die einzelnen Windrichtungen, die in den letzten Horizontalreihen dieser Tabellen ersichtlich sind, in Betracht gezogen werden.

Man ersieht aus diesen, daß die mittlere Geschwindigkeit auf Pelagosa im Jahresdurchschnitt bei den nördlichen und südlichen Windrichtungen die größere ist, hingegen bei den südöstlichen und

Tabelle 27.

Mittlere Windgeschwindigkeit — Sommer.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	31·3	27·4	17·7	20·3	**19·0**	14·1	13·5	22·7	18·2	13·4	29·0	22·1	17·4	21·2	**25·5**	33·9
3	29·4*	22·3	24·0	**21·7**	17·2	13·8	13·0	24·5	18·4	10·3	**29·2**	22·9	**17·8**	20·3	25·3	32·6
5	30·3	20·3	**24·7**	21·2	14·7	12·8	11·9	23·8	22·5	9·4*	26·1	**23·0**	16·0	18·6	23·9	32·3
7	30·3	20·0	20·7	20·4	15·9	12·0*	10·3*	21·2	23·2	11·4	21·7	21·0	13·4	15·9	22·9	31·9
9	30·4	17·3	17·2	18·0	18·4	16·2	12·9	19·9	18·7	12·7	18·1	16·9	11·6*	14·2*	23·3	31·4
11	30·2	16·8	15·8*	15·2	15·8	**21·6**	16·9	19·8*	15·1*	13·2	24·0	13·0*	11·7	14·4	23·0	31·1*
1h p.	29·9	17·7	17·4	10·7	12·2	17·3	14·0	20·2	16·4	13·8	**30·5**	13·6	12·6	15·1	22·4*	32·8
3	30·4	14·0	20·4	6·9*	11·8	12·0*	10·6*	22·2	20·2	15·8	18·0	20·3	13·3	15·9	23·3	36·0
5	30·1	12·7*	21·8	9·2	11·6*	12·6	13·1	24·8	23·4	21·1	8·8*	21·6	13·3	16·8	24·0	**37·7**
7	32·0	21·4	21·2	15·3	13·1	13·9	17·8	**25·3**	**24·6**	**24·3**	17·4	17·0	12·7	18·3	24·2	37·1
9	**36·0**	30·6	18·2	17·4	16·5	14·3	**19·7**	22·7	24·3	20·6	24·5	16·9	13·7	20·2	24·9	36·1
11	35·6	**31·5**	15·0*	17·4	18·5	14·0	16·6	21·1	22·0	16·1	26·8	19·8	15·8	**21·3**	25·1	35·5
Mittel	31·3	21·0	19·5	16·1	15·4	14·6	14·2	22·4	20·6	15·2	22·8	19·0	14·1	17·6	24·0	34·0

Tabelle 28.

Mittlere Windgeschwindigkeit — Herbst.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	33·2	36·3	26·0	34·6	14·6	19·0	15·1	28·3	28·7	24·5	27·3	31·1	13·1	16·8	21·6	28·8
3	31·0	35·8	26·2	32·9	14·8	12·9	11·3	27·2	26·6	**29·9**	23·6	**31·3**	12·8	14·6	21·2	**30·2**
5	32·6	34·5	26·2	31·3	18·1	9·6	8·1	28·6	25·8*	29·8	23·0	29·2	7·4	14·4	21·3	29·4
7	35·1	31·3	23·0	31·7	**19·8**	10·6	7·5*	29·4	28·0	21·7	24·5	21·9	4·4*	15·0	21·9	27·2
9	35·2	27·1	19·0	30·3	18·4	10·9	8·9	27·4	29·0	17·8*	22·7	14·1	6·4	14·7	22·7	26·0*
11	33·2	22·2	18·2*	27·1	17·5	8·2*	10·3	26·0*	27·3	21·9	20·1	10·3	8·3	13·3	21·7	26·5
1h p.	29·0	19·2	19·6	26·5*	16·9	10·3	13·7	26·3	26·5	26·8	19·5*	7·3	8·8	11·5	21·6	27·4
3	26·6*	17·8*	18·8	27·0	14·4	14·8	18·5	27·3	28·0	26·5	21·8	6·9*	5·2	10·8*	21·9	28·4
5	28·0	18·4	20·5	27·7	11·7	17·6	**20·5**	29·6	31·0	26·7	28·4	9·8	9·8	11·7	20·9*	28·8
7	30·7	22·7	26·7	30·7	10·3*	22·7	17·6	**31·0**	**32·9**	28·5	**32·7**	14·7	**21·2**	13·5	21·1	27·6
9	34·2	30·9	**30·2**	34·8	11·7	**27·6**	16·0	30·9	32·2	27·6	31·0	20·4	20·1	15·2	22·8	26·3
11	**35·8**	**36·6**	28·6	**35·8**	14·7	25·8	16·9	30·3	30·3	24·9	29·2	26·9	13·8	**17·0**	**22·9**	26·7
Mittel	32·1	27·7	23·6	30·9	15·2	15·8	13·7	28·5	28·9	25·6	25·3	18·7	10·9	14·0	21·8	27·8

westlichen Richtungen am kleinsten. Für die Richtungen aus NNW bis NNE und bei ENE ergeben sich mittlere Geschwindigkeiten von 31 bis 32 *km* pro Stunde, in der S- und SSE-Richtung von 28 und 29 *km* und bei der SW-Richtung 25 *km* pro Stunde. In den Richtungen SE und ESE resultieren 14 und 15 *km* und bei der W-Richtung nur 13 *km* als mittlere Stundengeschwindigkeiten.

Im Winter nimmt die mittlere Geschwindigkeit in der Borarichtung zu, NNE mit 42 *km*, ENE mit 37 *km*, ebenso findet eine Zunahme bei dem S- und SSE-Wind statt, wo die Geschwindigkeit auf 33 beziehungsweise 31 *km* ansteigt. Im Sommer zeigen hingegen diese Windrichtungen die relativ kleinste Intensität. In dieser Jahreszeit erreichen die westlichen und nordwestlichen Winde ihre größten mittleren Geschwindigkeiten, zum Beispiel die Richtung NNW 34 *km* pro Stunde.

Tabelle 29.

Mittlere Windgeschwindigkeit — Jahr.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	34·8	33·9	23·5	35·4	**18·5**	15·6	14·8	27·9	29·8	22·9	27·6	22·4	**17·4**	19·7	24·0	30·1
3	33·9	32·6	22·5	35·0	17·5	14·1	13·6	27·7	30·5	23·5	25·4	**23·0**	17·3	18·2	23·5	31·4
5	33·2	32·4	22·6	32·0	17·5	13·1	13·0	27·7	**31·0**	22·8	23·4	22·4	14·2	16·6	22·6	**32·0**
7	32·3	32·6	22·7	29·2	18·9	13·5	12·0	27·3	31·0	20·5	22·1	19·9	10·9	14·9	22·3	31·4
9	31·3	31·3	22·3	27·5	**19·1**	14·3	11·8*	26·8	29·4	19·9	21·2*	17·2	9·8*	14·0	23·1	30·5
11	30·2	29·6	21·2	26·9*	16·9	13·1	12·6	26·6*	27·6	20·4	21·6	14·4	10·8	13·9	22·8	30·0*
1h p.	28·1	29·4	20·2*	27·8	14·5	11·9*	12·5	26·9	26·9*	19·8*	22·1	12·1	11·5	13·8*	22·1*	30·6
3	26·2*	28·3	22·3	29·0	13·7	12·7	13·8	28·0	27·5	20·3	22·7	12·0*	10·7	14·2	22·4	31·5
5	26·8	28·1*	26·5	30·9	13·1*	14·7	16·6	29·3	29·2	23·8	26·8	12·1	11·6	15·9	22·8	31·7
7	30·5	31·7	29·4	34·2	13·8	17·6	17·6	**29·8**	**30·4**	**26·8**	**30·4**	13·8	14·1	17·7	23·7	30·9
9	33·7	34·9	**29·7**	**35·9**	16·2	**19·4**	**17·7**	29·3	30·3	26·3	29·4	17·6	15·5	19·2	**24·8**	29·9
11	**35·0**	**35·3**	26·7	35·1	18·1	17·8	16·8	28·4	29·8	24·0	28·2	20·8	16·1	**20·3**	24·7	29·5*
Mittel	31·3	31·7	24·1	31·6	16·5	14·8	14·4	28·0	29·5	22·6	25·1	17·3	13·3	16·5	23·2	30·8

Aus den Tabellen 25 bis 29 ergibt sich für Pelagosa schon aus dieser kurzen Beobachtungsreihe die Tatsache, daß alle Windrichtungen die größte Intensität in den Nachtstunden erreichen.

In der Jahrestabelle 29 ist dieses Verhältnis deutlich ausgeprägt, sämtliche Windrichtungen erreichen die Maxima der mittleren Geschwindigkeit in den Nachtstunden von 6^h abends bis 7^h früh, während die Minima auf die Tagesstunden fallen.

Selbst in den einzelnen Jahreszeiten, wo bei dem allzu kurzen Beobachtungszeitraum ausgeglichene Stundenmittel nicht zu erwarten sind, ist diese Verteilung auch ersichtlich. Die Maxima der mittleren Windgeschwindigkeiten sind bei den 16 Windrichtungen zu entnehmen:

im Winter	13 mal in der Nachthälfte,	3 mal in der Tageshälfte,
Frühling	15 » » » »	1 » » » »
Sommer	14 » » » »	2 » » » »
Herbst	14 » » » »	2 » » » »

wenn als Nachthälfte die Zeit von 6^h abends bis 6^h früh angenommen wird. Die Minima fallen:

im Winter	11 mal bei Tag und nur	5 mal bei Nacht,
Frühling	12 » » » » »	4 » » »
Sommer	13 » » » » »	3 » » »
Herbst	14 » » » » »	2 » » »

Es sind daher auch in den einzelnen Jahreszeiten die größeren mittleren Windgeschwindigkeiten vorwiegend in den Nachtstunden, die kleineren vorherrschend tagsüber zu entnehmen.

Die Anemometeraufzeichnungen auf Pelagosa zeigen daher ein ganz verschiedenes Verhalten in bezug auf die tägliche Periode der mittleren Windgeschwindigkeit der einzelnen Windrichtungen im Vergleich zu dem bisher für andere Orte der Adria abgeleiteten täglichen Gange.

Für Triest[1] wurde bei der Bestimmung der täglichen Periode der mittleren Geschwindigkeit der einzelnen Windrichtungen gefunden, daß alle Windrichtungen zur Mittagszeit an Stärke zunehmen,

[1] Triest l. c. p. 293.

wobei jedoch Doppelmaxima für die westlichen Winde, die für Triest die Seewinde sind, hervorgehoben werden konnten. Die zweiten Maxima fallen im Jahresmittel auf die Stunden zwischen 11^h nachts bis 2^h früh. Eine Bearbeitung der neuen Anemographenaufzeichnungen in Triest ist in Angriff genommen.

Für Porer,[1] in bedeutend freierer Lage, konnte schon ein wesentlicher Unterschied zwischen nördlichen und südlichen Windrichtungen gemacht werden. Die ersteren, in den Richtungen von WNW bis E, geben eine tägliche Periode mit dem Maximum bei Tage und dem Minimum bei Nacht, die acht südlichen Richtungen, von ESE bis W, lassen hingegen das entgegengesetzte Verhalten erkennen, das Maximum fällt auf die Morgenstunden, das Minimum der mittleren Geschwindigkeit auf die Nachmittagsstunden. Diese Winde, deren tägliche Periode der mittleren Geschwindigkeit dem täglichen Gang der Windgeschwindigkeit auf freien Höhen entspricht, wehen auf Porer von der freien Adria her, während die erstgenannten als Landwinde zu betrachten sind.

Hann hatte schon im Jahr 1888 bei einer Untersuchung der Winde auf Lesina[2] das verschiedene Verhalten der einzelnen Windrichtungen in bezug auf den täglichen Gang der mittleren Windstärke hervorgehoben, da er für Lesina fand, daß die Windrichtungen von NW bis ESE das Maximum ihrer Stärke zwischen 1 und 3^h nachmittags aufweisen, die Windrichtungen aus SSE bis WNW dagegen zwischen 2 und 4^h morgens. Der SE und WNW bilden den Übergang, in dem sie an beiden Maxima teilnehmen. Hierzu wäre zu bemerken, daß auch für Lesina die Winde mit dem Maximum ihrer Stärke bei Nacht von der offenen Adria kommen, während die anderen Winde Insel und Festland zu überwehen haben.

Bei der fast mitten in der Adria gelegenen Insel Pelagosa, bei der freien Aufstellung und Höhe des Anemometers zeigen alle Windrichtungen den täglichen Gang der Windgeschwindigkeiten auf freien Höhen.

Die zu erhoffende Fortsetzung der Windbeobachtungen auf Pelagosa werden nach einem längeren Beobachtungszeitraum ermöglichen, genaue Gangkurven zeichnen zu können und die Eintrittszeiten der Maxima der Windstärken bei den einzelnen Richtungen und Jahreszeiten bestimmen zu können.

Was noch die Schwankungen in der täglichen Periode anbelangt, so können für die Jahresmittel nachstehende Werte abgeleitet werden:

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Amplitude . . .	8·8	7·2	9·5	9·0	6·0	7·5	5·9	3·2	4·1	7·0	9·2	11·0	7·6	6·5	2·7	2·5
Quotient der Extreme . .	1·34	1·26	1·47	1·33	1·46	1·63	1·50	1·12	1·15	1·35	1·43	1·92	1·78	1·47	1·12	1·09

Die größeren täglichen Schwankungen zeigen die nordöstlichen, südöstlichen und südwestlichen Windrichtungen, die kleineren die südlichen und nordwestlichen Winde.

[1] Porer l. c. p. 390 u. ff.

[2] l. c. Lesina p. 295 u. f.

Anhang.

Tabelle I.

Mittlere Windgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde

nach Ausscheidung der unperiodischen Änderungen.

	1h a.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1h p.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittel
1912 Juli . . .	20·6	21·7	22·4	22·1	21·8	20·9	21·7	19·7	*18·6	19·7	*18·6	19·0	19·4	19·7	20·5	21·8	22·1	23·6	24·4	**27·5**	26·8	26·5	24·0	22·8	21·9
August .	*18·6	19·1	19·3	19·2	20·7	19·6	21·6	21·3	19·9	20·7	**22·4**	22·1	21·7	20·9	22·2	21·9	21·0	22·2	21·7	21·8	21·9	21·9	20·7	19·3	20·9
September	**27·4**	27·2	26·1	26·0	25·0	25·4	26·0	23·5	22·1	20·1	*19·7	21·5	24·0	23·0	21·5	23·2	23·3	21·9	22·4	23·1	22·8	24·1	26·5	**27·4**	23·9
Oktober .	24·1	24·7	23·5	23·0	22·6	21·8	20·1	*19·0	19·7	19·4	21·0	21·1	23·8	25·3	25·7	26·2	25·8	26·4	27·2	**28·1**	27·2	25·6	25·2	24·2	23·8
November	33·3	33·0	31·3	31·6	31·0	29·1	30·2	30·8	31·2	30·9	28·3	28·8	28·1	25·6	*23·6	25·2	26·8	29·8	30·3	30·9	31·5	31·8	34·0	**34·0**	30·0
Dezember	23·1	22·6	23·2	23·4	24·7	23·9	23·4	22·8	20·2	20·6	20·2	19·2	*19·1	20·1	20·7	20·9	21·3	22·6	24·1	24·1	24·5	**27·1**	26·5	24·2	22·6
1913 Jänner .	22·4	24·9	**25·9**	25·2	23·9	24·9	24·4	24·6	25·2	25·6	24·0	22·2	21·4	21·2	21·7	21·8	20·5	*20·4	23·5	23·9	24·5	24·6	24·0	22·6	23·5
Februar .	34·0	32·6	32·9	32·9	33·0	31·8	35·4	33·3	35·1	34·5	32·7	30·9	31·2	29·7	*28·9	30·6	32·9	33·2	33·8	34·0	33·8	**35·8**	34·1	33·3	32·9
März . .	29·2	28·0	25·7	25·0	25·0	25·5	25·9	27·0	26·6	23·9	24·2	23·8	*22·0	22·6	24·4	25·8	27·8	28·3	30·4	31·2	30·1	31·2	**32·0**	30·3	26·9
April . .	26·1	27·7	23·5	25·1	23·9	23·0	23·2	22·7	22·7	23·1	22·2	22·5	*21·9	23·1	22·7	23·5	25·7	26·2	25·9	28·5	**30·4**	28·1	29·4	26·5	24·9
Mai . .	28·1	28·1	27·8	26·5	26·7	26·0	26·1	25·7	26·1	27·5	*23·1	23·5	25·1	26·0	25·9	26·7	26·7	26·9	28·0	30·0	30·2	**30·4**	29·7	28·6	27·1
Juni . .	24·9	22·4	21·5	23·2	22·7	22·5	22·8	22·9	22·8	21·1	20·0	20·0	19·7	*16·9	20·2	23·2	26·3	25·1	26·3	**27·5**	26·2	25·8	25·6	24·4	23·1
Juli . . .	22·4	21·4	21·5	22·6	23·1	23·5	22·3	21·1	19·1	18·3	17·4	*16·8	18·8	20·8	23·4	25·5	24·7	25·7	28·0	27·5	28·3	**28·9**	26·6	24·2	23·0
August .	26·3	26·4	25·6	26·6	25·7	24·6	24·4	23·3	23·0	23·1	21·3	*20·8	22·0	21·9	25·2	26·8	28·7	27·7	28·4	27·5	29·9	**31·8**	28·4	26·2	25·7
September	26·2	24·0	24·0	22·7	22·4	23·3	22·7	22·2	20·7	19·9	18·4	18·3	18·8	*17·5	18·2	18·5	21·3	21·0	20·5	22·1	23·0	23·8	25·3	**28·2**	21·8
Oktober .	27·3	26·4	26·1	25·7	26·6	23·7	24·4	25·4	25·0	25·8	23·7	21·8	21·1	20·9	*20·6	23·3	24·1	25·3	27·7	**28·6**	28·2	28·4	27·3	27·0	25·2
November	25·8	*25·0	25·6	27·6	27·6	26·3	27·1	29·1	28·0	29·2	26·9	26·1	26·7	26·1	25·3	27·4	28·8	28·9	31·0	**31·5**	31·0	30·3	28·9	25·4	27·7
Dezember	30·6	32·0	33·5	34·4	34·2	33·7	35·5	35·0	34·1	**36·1**	34·3	33·4	32·8	31·7	29·8	29·7	31·6	34·0	33·9	33·9	34·3	33·3	31·7	*28·8	33·0
1914 Jänner .	28·5	28·8	27·5	30·3	30·9	30·2	31·7	31·8	31·7	**32·0**	30·2	30·7	29·1	28·7	29·3	29·3	*27·4	*27·4	28·8	30·0	31·2	30·3	30·3	28·8	29·8
Februar .	26·5	27·1	26·1	26·8	25·3	25·4	25·3	*24·1	24·2	25·2	25·1	24·4	25·6	*24·1	24·8	24·4	*24·1	25·4	**28·1**	27·7	26·0	26·2	25·7	26·2	25·6
März . .	31·7	35·3	35·3	36·1	36·7	36·4	37·7	35·9	34·4	36·0	**38·2**	35·6	31·2	30·3	28·8	*28·2	29·9	30·3	32·7	33·8	34·4	32·7	33·9	31·6	33·6
April . .	24·2	24·4	22·2	21·1	19·7	19·5	21·2	21·6	21·8	21·0	*18·6	*18·6	20·6	21·2	20·4	21·2	23·5	25·5	27·5	**27·8**	26·8	26·4	25·7	24·8	22·7
Mai . .	28·7	28·5	28·3	28·4	27·6	27·0	26·8	26·1	26·4	*25·5	25·6	26·2	26·5	25·7	27·0	27·9	28·0	28·0	27·9	**29·1**	28·4	27·6	27·5	27·1	27·3
Juni . .	20·9	20·9	21·7	21·0	21·2	20·6	20·1	19·3	20·2	21·0	20·1	*19·2	21·3	20·7	21·6	23·2	22·8	23·7	**24·4**	22·1	20·8	21·8	21·7	21·1	21·3
Juli . . .	24·2	24·6	25·1	24·5	24·4	24·2	23·0	21·5	21·4	20·1	*20·0	20·9	22·2	22·0	22·4	22·0	24·1	24·3	25·0	**26·9**	26·6	24·0	22·8	23·6	23·3
August .	19·8	21·0	19·8	19·2	19·5	19·4	18·6	17·8	15·8	17·3	*15·2	15·6	16·8	17·2	17·7	18·4	18·7	21·1	**22·2**	21·7	20·9	20·9	20·2	20·2	19·0

Tabelle II.

Windwege an Sturmtagen.

Tagesmittel $\gtreqless$ 50 *km* pro Stunde.

	Dezember	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juli	August	September	Oktober	November
1h a.	356	68	576	402	100	315	48	70	118	42	346
2	355	71	578	407	116	284	45	66	134	43	337
3	356	67	589	401	137	297	42	76	124	46	328
4	384	70	584	433	147	293	41	76	135	46	330
5	387	73	593	460	152	301	46	71	101	54	368
6	397	85	607	447	140	306	43	81	94	55	346
7	406	90	656	514	135	323	49	70	92	50	351
8	405	86	624	541	139	314	49	61	96	56	363
9	366	80	647	512	141	329	68	60	97	66	348
10	408	81	649	493	129	373	54	59	104	67	360
11	364	70	597	496	138	334	48	62	97	64	354
12	345	58	585	510	118	326	47	63	126	69	341
1h p.	326	50	575	470	114	330	49	59	122	74	314
2	328	56	576	443	103	353	55	62	116	67	308
3	319	50	562	435	115	347	57	54	104	69	288
4	327	50	528	386	110	349	49	58	109	64	296
5	352	52	572	425	112	324	53	52	125	66	364
6	372	64	607	427	120	299	55	56	116	56	396
7	397	79	611	420	115	292	53	52	129	50	388
8	352	71	575	419	102	307	63	54	124	66	353
9	343	66	524	415	107	291	63	54	129	58	296
10	340	69	516	429	98	270	54	54	120	49	287
11	324	63	499	408	80	254	50	47	115	40	286
12	328	55	537	387	59	253	46	43	117	51	269
Summe	8637	1624	13967	10680	2827	7464	1227	1460	2744	1368	8017

Tabelle III.

Windwege an Tagen mit stürmischer Bora.

	Dezember	Jänner	Februar	März	April	Mai	September	Oktober	November
1h a.	251	105	477	174	42	46	63	196	220
2	247	105	460	170	47	53	72	188	203
3	262	95	490	137	67	45	80	181	194
4	277	102	462	146	74	53	111	155	188
5	262	109	480	149	73	49	101	156	207
6	252	123	483	133	63	41	104	148	219
7	235	140	509	144	64	46	110	155	237
8	219	134	491	164	62	51	100	152	226
9	203	124	541	148	68	47	99	146	200
10	228	131	525	118	62	45	86	151	229
11	217	117	492	116	65	49	88	121	202
12	221	101	468	128	59	53	92	117	209
1h p.	246	94	461	116	54	49	108	123	211
2	247	100	453	103	51	49	88	131	234
3	255	100	439	122	57	42	72	136	231
4	255	99	447	118	58	37	75	133	255
5	268	95	492	126	60	36	81	147	242
6	300	111	514	132	70	44	70	155	269
7	313	122	521	125	60	47	88	175	276
8	310	108	523	138	50	44	89	197	289
9	305	104	499	131	53	32	97	194	308
10	324	107	541	138	37	32	112	179	294
11	312	97	514	144	37	22	116	174	324
12	275	84	5f2	148	33	19	115	176	313
Summe	6284	2607	11794	3268	1366	1031	2217	3786	5780

Tabelle IV.

Windwege an Tagen mit stürmischem Scirocco.

	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Oktober	November
1h a.	27	180	116	257	269	27	21	29	140	119
2	20	189	118	281	275	21	20	22	143	135
3	18	184	114	251	271	19	14	11	148	124
4	25	202	105	269	301	18	19	16	159	134
5	28	188	113	286	323	16	19	22	187	118
6	35	220	109	274	338	31	19	19	179	102
7	66	201	127	287	346	41	21	22	194	99
8	87	201	148	291	319	44	18	34	201	112
9	103	202	137	271	351	54	14	40	181	108
10	109	220	145	281	345	51	19	43	190	114
11	112	213	149	299	336	49	20	37	208	111
12	100	203	149	269	343	46	27	42	179	117
1h p.	101	229	142	265	344	44	18	38	188	104
2	89	217	135	267	341	46	24	39	192	101
3	87	213	143	256	341	47	25	41	188	86
4	86	198	132	251	380	49	38	39	206	91
5	82	201	152	260	368	44	41	41	229	86
6	71	212	162	243	379	40	41	46	216	99
7	84	211	153	235	357	41	42	52	235	91
8	104	209	168	264	363	39	41	52	212	91
9	126	215	154	258	355	26	51	54	211	82
10	123	206	146	251	328	24	45	46	196	98
11	129	174	142	245	315	29	32	30	167	111
12	88	200	136	198	297	33	26	26	156	79
Summe	1900	4888	3295	6309	7985	879	655	841	4505	2512

Tabelle V.

Windwege an Tagen mit stürmischem Südwest.

	Dezember	Jänner	Februar	März	April	Mai	September	Oktober	November
1h a.	274	88	131	486	29	53	105	176	92
2	277	81	134	502	20	59	124	177	100
3	303	87	131	504	15	52	116	163	96
4	305	100	132	506	13	65	101	143	92
5	314	73	133	533	2	50	81	152	98
6	327	66	136	551	7	50	54	134	90
7	355	82	153	586	11	50	76	127	123
8	358	87	145	576	6	51	70	151	164
9	333	85	146	573	13	57	57	153	217
10	378	94	150	560	14	53	65	158	245
11	323	119	182	569	17	38	74	150	233
12	332	119	190	538	26	39	87	141	202
1h p.	314	112	199	494	32	26	108	145	178
2	311	92	188	458	36	23	121	134	172
3	295	120	180	429	39	21	138	131	161
4	293	125	180	378	40	24	147	139	172
5	349	114	172	417	63	33	135	149	178
6	361	142	181	443	59	40	134	157	201
7	391	165	180	454	51	51	124	165	212
8	357	154	174	446	50	53	112	206	231
9	340	142	141	452	55	81	106	174	229
10	338	143	113	469	60	90	99	165	194
11	326	138	129	476	64	95	117	152	192
12	321	121	118	469	61	84	131	158	197
Summe	7875	2649	3718	11869	783	1238	2482	3700	4069

Tabelle VI.

Windwege an Tagen mit stürmischem Nordwest.

	Dezember	Jänner	Februar	März	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November
1h a.	64	169	50	155	267	218	334	341	163	39	73
2	75	190	46	158	240	182	342	326	152	44	55
3	67	199	60	143	230	197	359	315	145	40	67
4	64	202	54	139	212	213	405	311	135	37	93
5	66	229	56	133	218	211	409	288	126	47	95
6	64	222	53	108	204	221	399	316	124	44	103
7	62	207	69	109	213	261	377	304	119	46	96
8	54	208	47	120	200	239	373	284	119	50	120
9	44	220	42	127	202	269	371	283	117	60	119
10	24	241	59	148	227	276	337	283	121	59	125
11	36	222	52	150	201	270	319	275	124	64	121
12	35	224	48	145	224	254	326	263	149	58	129
1h p.	25	211	53	142	251	255	347	273	139	71	118
2	26	220	60	131	269	238	365	288	141	81	124
3	24	213	51	131	254	283	400	284	134	81	122
4	16	208	51	138	230	298	386	314	131	86	132
5	16	188	56	137	236	294	391	294	129	86	123
6	20	177	51	119	230	269	416	292	123	81	134
7	23	173	50	128	244	264	406	278	110	94	129
8	24	161	48	136	239	235	419	294	95	92	123
9	31	147	48	139	243	214	394	302	84	80	122
10	34	128	42	89	237	202	358	295	82	74	124
11	30	118	43	101	222	193	327	282	82	76	132
12	26	118	40	112	219	194	329	249	85	74	115
Summe	950	4595	1229	3138	5512	5750	8889	7034	2929	1564	2694

Tabelle VII.

Windhäufigkeit — Winter.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Kalmen
1h a.	19	13	6	9	6	2	4	5	28	9	11	7	2	8	23	21	2
2	12	15	7	10	4	5	1	8	25	9	7	11	6	7	22	25	1
3	18	13	10	7	8	6	0	4	25	10	8	9	2	6	24	22	3
4	14	17	8	9	7	5	1	4	27	11	9	6	3	6	21	26	1
5	12	17	10	8	5	2	2	4	31	7	9	9	6	10	16	26	1
6	15	13	9	11	5	1	4	5	31	5	10	6	4	9	23	21	3
7	19	15	9	11	6	2	5	6	30	5	11	8	1	8	17	22	0
8	18	15	7	12	6	5	4	10	26	9	12	6	1	1	19	23	1
9	25	16	5	8	7	5	1	10	33	11	11	2	3	3	18	16	1
10	18	13	5	16	3	5	0	12	30	13	8	6	1	3	19	21	2
11	17	10	6	15	5	3	2	10	29	12	12	4	2	7	18	21	2
12	19	13	7	11	4	5	0	10	30	13	13	3	2	5	18	20	2
1h p.	18	13	6	11	2	4	4	10	32	8	17	3	3	4	16	22	2
2	18	16	5	10	2	4	4	9	34	13	9	4	5	5	15	21	1
3	23	13	7	10	3	5	2	7	37	7	10	5	2	2	20	21	1
4	24	11	9	8	6	1	2	5	37	11	4	7	6	4	14	26	0
5	23	10	9	9	5	3	3	9	33	13	2	9	0	3	15	28	1
6	21	12	9	13	6	4	2	7	31	8	7	8	1	2	15	27	2
7	26	10	9	11	6	2	5	8	27	13	6	6	2	3	12	26	3
8	23	13	13	9	2	5	1	9	28	12	5	5	3	4	19	21	3
9	18	12	13	9	5	2	1	10	29	10	7	7	1	6	18	25	2
10	20	10	14	9	6	1	2	6	31	11	7	5	3	8	22	18	2
11	18	12	5	13	7	2	1	6	29	10	11	6	1	8	25	20	1
12	18	10	7	11	6	2	3	7	24	12	11	7	3	6	22	24	2
Mittel	19·0	13·0	8·1	10·4	5·1	3·4	2·3	7·5	29·9	10·1	9·1	6·2	2·6	5·3	18·8	22·6	1·6

Tabelle VIII.

Windhäufigkeit — Frühling.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Kalmen
1h a.	19	6	5	7	3	4	5	17	30	14	13	8	7	10	16	14	2
2	20	7	4	4	3	9	3	22	26	6	18	10	5	11	19	11	2
3	22	6	6	4	2	8	5	20	25	7	11	14	7	6	17	16	4
4	24	9	5	4	3	6	5	22	24	6	9	12	7	12	17	14	1
5	24	6	9	6	4	6	3	24	22	6	8	11	6	7	20	14	4
6	23	7	7	4	5	5	4	20	28	7	11	8	7	8	22	14	0
7	17	10	4	5	4	5	5	22	31	4	14	8	5	6	25	14	1
8	14	11	7	5	3	1	5	22	36	7	14	5	5	4	19	20	2
9	18	5	6	7	2	2	1	25	37	9	14	6	3	10	14	19	2
10	20	2	7	9	1	2	0	31	34	11	7	9	5	8	19	13	2
11	17	4	6	7	4	2	3	25	35	12	5	7	5	10	18	15	5
12	13	7	5	5	4	1	4	26	31	13	7	10	2	10	20	21	1
1h p.	13	11	3	6	4	4	1	30	29	12	4	8	3	10	19	23	0
2	14	5	5	6	3	3	6	34	26	11	3	6	3	5	23	27	0
3	10	5	3	5	4	2	6	34	24	12	3	6	2	11	20	32	1
4	9	6	4	4	1	5	2	31	31	9	6	3	1	10	23	32	3
5	12	6	0	4	4	3	4	33	30	6	6	2	2	8	22	37	1
6	12	3	4	5	4	3	0	35	29	9	4	6	0	7	19	38	2
7	17	1	4	6	0	6	3	31	34	7	4	2	3	3	25	32	2
8	19	2	7	2	3	5	1	30	31	13	5	0	2	8	24	28	0
9	20	5	7	2	1	3	1	25	38	11	9	3	5	4	22	24	0
10	16	12	2	3	1	2	1	21	39	14	7	7	5	7	20	22	1
11	18	12	1	4	2	5	2	16	36	14	8	9	4	8	23	16	2
12	20	12	2	5	2	6	2	15	33	14	13	9	6	8	18	14	1
Mittel	17·1	6·7	4·7	5·0	2·8	4·1	3·0	25·5	30·8	9·7	8·5	7·0	4·2	8·0	20·2	21·2	1·6

Tabelle IX.

Windhäufigkeit — Sommer.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Kalmen
1h a.	15	6	4	5	5	5	3	15	16	7	8	10	12	12	25	20	7
2	20	5	4	5	5	7	3	16	10	6	10	9	6	16	28	20	5
3	18	10	6	3	5	6	7	14	7	4	6	12	5	16	28	21	7
4	18	13	6	3	4	5	9	15	6	3	6	14	2	11	27	27	6
5	18	15	6	5	3	9	9	17	2	2	7	7	4	11	25	26	9
6	26	8	8	5	5	9	3	17	13	1	5	5	5	9	29	19	8
7	26	9	4	10	2	6	3	15	19	1	6	8	4	11	27	17	7
8	19	12	4	4	7	2	2	14	23	2	3	10	4	10	25	23	11
9	17	10	4	6	8	5	4	13	20	2	9	8	9	8	22	21	9
10	11	7	7	7	4	1	5	16	22	5	5	10	5	13	17	33	7
11	14	8	8	2	6	1	5	17	23	4	3	8	4	17	20	27	8
12	13	5	4	5	7	3	3	17	23	2	1	5	5	21	20	29	12
1h p.	15	3	3	4	6	3	4	20	23	4	2	1	7	22	26	24	8
2	12	4	2	0	9	4	8	20	22	3	1	2	2	17	33	29	7
3	16	8	3	2	5	10	4	18	22	4	1	3	1	11	35	27	5
4	14	7	5	0	7	8	4	19	21	5	0	2	2	11	33	31	6
5	12	5	6	1	8	6	4	23	18	6	1	1	2	7	29	37	9
6	19	4	6	4	7	4	6	18	22	5	0	2	1	6	28	36	7
7	15	7	6	6	4	3	8	16	23	5	3	2	3	4	23	39	8
8	22	4	6	6	4	3	4	22	24	7	4	3	2	3	20	37	4
9	20	6	6	3	4	2	2	20	28	4	4	4	4	9	22	28	9
10	17	4	10	2	3	2	5	16	31	3	6	8	2	8	29	21	8
11	20	3	8	7	5	4	4	10	26	5	6	11	2	11	29	18	6
12	17	7	6	6	8	4	5	10	24	2	9	9	6	9	30	18	5
Mittel	17·2	7·1	5·5	4·2	5·5	4·7	4·8	16·6	19·5	3·8	4·4	6·4	4·1	11·4	26·2	26·2	7·4

Tabelle X.

Windhäufigkeit — Herbst.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Kalmen
1h a.	17	14	6	11	2	3	2	9	29	5	11	8	1	3	31	24	3
2	18	11	9	9	0	4	3	12	29	5	10	6	1	5	27	27	3
3	18	10	6	9	3	4	3	13	26	6	9	7	2	3	27	29	4
4	16	10	10	7	3	5	4	13	25	6	10	7	0	6	26	27	4
5	15	12	10	10	4	2	6	13	24	7	10	5	2	7	28	21	3
6	13	8	7	15	3	4	1	14	26	7	11	3	0	5	27	30	5
7	9	11	4	13	8	2	2	11	27	7	13	2	0	3	23	37	7
8	11	10	10	11	9	3	1	8	29	10	11	3	1	6	18	33	5
9	11	11	6	13	5	2	4	11	29	11	11	3	3	8	23	26	2
10	12	10	9	8	6	1	2	14	35	10	8	8	1	13	13	25	4
11	13	9	4	13	3	0	1	20	36	9	8	2	2	13	18	25	3
12	13	6	10	7	4	1	2	16	41	8	6	3	0	12	22	27	1
1h p.	20	6	7	5	6	3	1	20	36	6	7	4	3	9	14	32	0
2	23	7	3	7	5	3	2	15	41	4	4	6	3	8	22	25	1
3	20	6	6	6	5	3	3	19	40	5	2	1	3	5	16	34	5
4	24	9	4	4	7	4	3	19	35	6	4	1	2	6	13	35	3
5	21	12	2	5	5	7	2	22	32	6	6	1	0	4	20	30	4
6	18	10	7	5	6	5	4	20	30	5	8	3	2	4	20	31	1
7	16	6	7	6	5	6	5	18	27	8	7	3	0	3	21	38	3
8	20	4	8	6	5	6	3	16	30	6	8	4	1	4	25	31	2
9	16	9	11	5	3	4	2	12	32	9	11	4	2	3	29	24	3
10	16	9	8	8	4	1	4	11	30	8	14	5	3	6	25	24	3
11	20	5	7	12	3	1	4	6	35	3	15	9	2	7	22	23	5
12	14	6	8	12	3	1	2	6	34	4	14	9	3	4	25	29	5
Mittel	16·4	8·8	7·0	8·6	4·5	3·1	2·8	14·1	31·6	6·7	9·1	4·5	1·5	6·1	22·3	28·6	3·3

Tabelle XI.

Windhäufigkeit — Jahr.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Kalmen
1h a.	70	39	21	32	16	14	14	46	103	35	43	33	22	33	95	79	14
2	70	38	24	28	12	25	10	58	90	26	45	36	18	39	96	83	11
3	76	39	28	23	18	24	15	51	83	27	34	42	16	31	96	88	18
4	72	49	29	23	17	21	19	54	82	26	34	39	12	35	91	94	12
5	69	50	35	29	16	19	20	58	79	22	34	32	18	35	89	87	17
6	77	36	31	35	18	19	12	56	98	20	37	22	16	31	101	84	16
7	71	45	21	39	20	15	15	54	107	17	44	26	10	28	92	90	15
8	62	48	28	32	25	11	12	54	114	28	40	24	11	21	81	99	19
9	71	42	21	34	22	14	10	59	119	33	45	19	18	29	77	82	14
10	61	32	28	40	14	9	7	73	121	39	28	33	12	37	68	92	15
11	61	31	24	37	18	6	11	72	123	37	28	21	13	47	74	88	18
12	58	31	26	28	19	10	9	69	125	36	27	21	9	48	80	97	16
1h p.	66	33	19	26	18	14	10	80	120	30	30	16	16	45	75	101	10
2	67	32	15	23	19	14	20	78	123	31	17	18	13	35	93	102	9
3	69	32	19	23	17	20	15	78	123	28	16	15	8	29	91	114	12
4	71	33	22	16	21	18	11	74	124	31	14	13	11	31	83	124	12
5	68	33	17	19	22	19	13	87	113	31	15	13	4	22	86	132	15
6	70	29	26	27	23	16	12	80	112	27	19	19	4	19	82	132	12
7	74	24	26	29	15	17	21	73	111	33	20	13	8	13	81	135	16
8	84	23	34	23	14	19	9	77	113	38	22	12	8	19	88	117	9
9	74	32	37	19	13	11	6	67	127	34	31	18	12	22	91	101	14
10	69	35	34	22	14	6	12	54	131	36	34	25	13	29	96	85	14
11	76	32	21	36	17	12	11	38	226	32	40	35	9	34	99	77	14
12	69	35	23	34	19	13	12	38	115	32	47	34	18	27	95	85	13
Mittel	69·7	35·5	25·3	28·2	17·9	15·3	12·9	63·7	111·8	30·3	31·1	24·1	12·4	30·8	87·5	98·6	13·9

Tabelle XII.

Windwege — Winter.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	635	415	189	399	129	23	67	171	949	105	296	104	21	171	542	588
2	542	537	120	386	117	64	15	226	824	209	213	147	108	141	567	683
3	699	501	152	332	149	119	0	123	853	280	142	175	24	93	548	750
4	492	600	166	336	128	73	22	157	994	281	199	60	57	98	468	927
5	408	623	194	328	144	44	33	90	1056	154	243	124	85	170	331	1004
6	519	545	202	386	133	33	67	160	995	74	246	154	37	206	547	657
7	622	601	264	360	147	54	100	164	1051	106	218	160	7	121	417	743
8	410	701	172	359	157	80	63	277	992	212	285	71	17	30	379	816
9	570	679	178	294	165	135	21	225	1157	190	237	57	19	62	433	543
10	464	548	197	490	94	86	0	311	1111	303	195	135	1	33	460	648
11	436	415	286	406	143	30	28	333	1028	228	285	76	20	89	446	605
12	437	502	287	370	74	48	0	304	940	293	306	47	9	60	396	622
1h p.	458	488	188	377	25	37	53	287	1107	128	340	52	38	92	329	632
2	391	684	86	360	39	56	33	215	1074	247	182	57	54	85	317	659
3	544	590	140	347	56	61	21	203	1098	147	148	88	25	38	403	620
4	531	499	289	252	128	28	18	199	1027	261	69	95	88	23	305	759
5	531	433	328	324	90	43	42	286	919	363	31	67	0	25	313	795
6	537	462	356	389	90	35	47	264	925	199	247	68	5	30	315	787
7	702	501	327	470	80	13	100	240	831	383	209	59	36	76	269	728
8	636	558	429	410	57	44	9	288	925	327	132	62	34	87	471	586
9	428	549	510	320	112	18	8	326	857	285	194	100	16	84	503	769
10	549	419	517	404	155	17	20	239	945	301	152	103	57	131	641	504
11	533	513	180	549	150	29	12	228	910	193	268	94	7	143	620	577
12	467	470	333	426	41	50	55	217	823	151	275	76	95	186	451	642
Mittel	522·5	534·7	253·8	378·1	108·5	50·8	34·8	230·5	974·6	225·8	213·0	93·0	35·9	94·8	436·3	693·5

Tabelle XIII.

Windwege — Frühling.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	774	235	86	234	43	82	63	509	896	426	408	161	112	172	444	388
2	819	257	121	200	29	127	40	675	815	204	481	247	107	198	454	384
3	854	251	124	168	16	85	87	563	890	163	303	331	115	107	522	311
4	844	276	89	164	22	81	65	650	808	102	249	303	153	215	356	498
5	914	190	148	190	45	82	55	693	818	120	222	246	94	82	450	462
6	819	222	94	184	48	51	55	598	1016	137	192	193	80	105	451	493
7	633	309	92	171	34	45	60	690	1100	100	255	145	41	67	547	560
8	549	369	131	159	25	9	54	690	1188	130	266	96	55	30	408	625
9	638	237	108	180	9	12	7	802	1149	166	267	108	16	117	317	631
10	771	27	127	227	12	6	0	865	983	281	133	190	36	109	425	528
11	609	132	94	166	49	15	9	801	1039	297	96	156	64	122	469	469
12	457	219	30	118	41	1	53	792	976	321	144	105	15	142	498	630
1h p.	420	241	12	116	39	29	7	850	943	217	116	78	35	133	429	786
2	444	142	75	128	36	23	47	1032	783	198	99	64	16	45	475	892
3	262	144	64	130	33	39	82	1110	690	147	99	44	18	132	443	1069
4	280	190	31	114	9	63	44	1015	813	174	151	22	6	142	532	1050
5	411	135	0	133	66	42	89	996	945	88	124	16	24	231	466	1122
6	439	75	65	189	49	59	0	976	975	225	116	96	0	78	512	1136
7	674	17	77	246	0	138	50	960	1064	171	160	25	32	20	651	933
8	781	61	211	127	18	83	27	1021	1003	338	207	0	19	179	562	817
9	712	143	265	93	12	65	28	829	1255	295	251	68	62	114	577	688
10	639	343	27	141	14	50	15	649	1316	403	236	130	76	156	535	619
11	755	344	11	181	31	86	36	492	1224	452	276	233	54	163	627	427
12	743	379	30	167	41	111	57	448	1000	425	361	198	92	182	477	398
Mittel	635·0	205·8	88·0	163·6	30·0	57·7	42·9	779·4	987·0	232·5	217·2	135·6	55·1	126·7	484·5	663·2

Tabelle XIV.

Windwege — Sommer.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1^h a.	497	167	57	103	101	71	38	359	299	116	255	212	210	268	667	655
2	549	159	69	128	109	110	35	367	142	80	284	218	107	342	681	671
3	471	204	164	61	89	92	108	318	112	36	184	297	60	335	757	695
4	525	249	161	68	63	61	114	392	100	25	172	303	51	204	678	855
5	634	281	168	90	50	110	112	444	59	25	175	151	71	220	624	794
6	752	168	196	117	58	119	32	432	251	5	147	118	70	179	656	659
7	831	170	77	177	26	50	30	301	485	13	97	232	44	183	605	530
8	502	291	78	105	99	32	22	264	553	20	74	178	64	131	540	737
9	513	191	78	110	115	96	34	252	438	26	167	111	104	99	596	652
10	345	102	110	107	121	3	45	330	355	72	92	152	49	199	352	1080
11	466	79	112	34	117	42	51	373	270	72	30	135	23	254	468	794
12	370	91	58	81	77	57	111	312	291	12	20	68	86	287	464	890
1^h p.	435	57	69	85	67	55	42	381	358	46	64	3	124	341	548	825
2	330	103	22	0	87	40	105	381	408	55	63	22	17	252	709	873
3	469	110	54	19	68	106	47	391	379	54	24	70	7	158	809	1016
4	494	71	122	0	82	79	24	436	454	67	0	54	37	191	806	1098
5	374	39	139	4	101	63	40	580	445	98	1	39	39	129	757	1369
6	502	46	127	44	70	64	95	449	554	134	0	18	10	91	628	1449
7	454	126	136	120	32	27	126	444	611	126	66	17	33	67	557	1525
8	679	86	121	85	57	54	79	573	528	215	89	55	22	56	458	1304
9	695	173	114	67	73	12	56	481	705	96	95	91	69	136	542	1010
10	705	176	201	33	59	50	86	323	755	47	156	93	22	212	770	727
11	750	111	87	117	72	54	67	207	637	68	143	216	32	249	740	645
12	620	161	82	63	157	48	73	182	537	32	254	178	92	180	721	675
Mittel	540·1	142·1	108·4	75·8	81·3	62·3	65·5	373·8	405·3	64·2	110·5	126·3	60·1	198·5	630·5	897·0

Tabelle XV.

Windwege — Herbst.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	564	434	123	384	55	46	37	237	869	89	342	236	12	70	680	708
2	568	351	248	288	0	69	36	330	830	106	265	248	8	88	513	815
3	524	390	146	329	39	47	47	366	681	199	216	197	72	33	537	834
4	493	392	287	233	40	84	25	338	677	189	206	191	0	60	595	842
5	490	401	239	286	54	12	40	348	657	254	208	152	20	141	658	655
6	398	266	223	416	74	30	9	403	529	240	230	114	0	69	536	914
7	356	361	95	436	179	16	4	354	741	96	338	56	0	42	449	957
8	386	317	215	296	175	39	9	250	902	192	326	41	3	74	385	860
9	352	324	106	350	106	20	29	254	934	227	247	29	27	152	536	671
10	431	255	182	276	92	19	30	413	995	162	164	110	10	187	347	655
11	456	191	58	321	33	0	4	508	1009	150	165	21	20	150	376	650
12	471	128	162	187	87	8	23	407	1033	155	116	42	0	153	428	708
1h p.	567	149	101	156	108	28	12	533	943	189	138	23	22	119	309	861
2	611	89	96	152	98	33	35	409	1047	139	74	26	61	90	458	726
3	534	84	101	154	95	54	41	454	1066	116	35	5	9	40	363	890
4	578	202	65	116	57	65	64	531	990	135	88	9	5	63	305	1021
5	620	228	29	132	49	94	61	637	980	162	147	3	0	42	397	898
6	484	131	160	137	80	82	71	633	959	135	264	43	6	57	397	947
7	476	133	190	163	45	141	80	561	918	248	246	34	0	49	404	1072
8	610	96	235	194	56	140	48	519	1007	174	301	73	67	37	553	799
9	508	271	336	179	29	88	18	386	1028	235	327	97	24	41	675	664
10	585	245	259	297	37	36	79	302	994	224	403	84	62	111	586	601
11	710	250	195	446	38	40	82	187	1023	87	444	222	35	119	535	586
12	572	217	248	431	69	18	35	200	1030	96	406	241	34	57	587	729
Mittel	514·3	246·0	170·8	265·0	70·6	50·4	38·3	398·3	910·1	166·6	237·3	95·7	20·7	85·2	483·7	794·3

Tabelle XVI.

Windwege — Jahr.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1h a.	2470	1251	455	1120	328	222	205	1276	3013	736	1301	713	355	681	2333	2339
2	2478	1304	558	1002	255	370	126	1598	2611	599	1243	860	330	769	2215	2553
3	2548	1346	586	890	293	343	242	1370	2536	678	845	1000	271	568	2364	2590
4	2354	1517	703	801	253	299	226	1537	2579	597	826	857	261	577	2097	3122
5	2446	1495	749	894	293	248	240	1575	2590	553	848	673	270	613	2063	2915
6	2488	1201	715	1103	313	233	163	1593	2791	456	815	579	187	559	2190	2723
7	2442	1441	528	1144	386	165	194	1509	3377	315	908	593	92	413	2018	2790
8	1847	1678	596	919	456	160	148	1481	3635	554	951	386	139	265	1712	3038
9	2073	1431	470	934	395	263	91	1533	3678	609	918	305	166	430	1882	2497
10	2011	932	616	1100	319	114	75	1919	3444	818	584	587	96	528	1584	2911
11	1967	817	550	927	342	87	92	2015	3346	747	576	388	127	615	1759	2518
12	1735	940	537	756	279	114	187	1815	3240	781	586	262	110	642	1786	2850
1h p.	1880	935	370	734	239	149	114	2051	3351	580	658	156	219	685	1615	3104
2	1776	1018	279	640	260	152	220	2037	3312	639	418	169	148	472	1959	3150
3	1809	928	359	650	252	260	191	2158	3233	464	306	207	59	368	2018	3595
4	1883	962	507	482	276	235	150	2181	3284	637	308	180	136	419	1948	3928
5	1936	835	496	593	306	242	232	2499	3289	711	303	125	63	427	1933	4184
6	1962	714	708	759	289	240	213	2322	3413	693	627	225	21	256	1852	4319
7	2306	777	730	999	157	319	356	2205	3424	928	681	135	101	212	1881	4258
	2706	801	996	816	188	321	163	2401	3463	1054	729	190	142	359	2044	3506
9	2343	1136	1225	659	226	183	110	2022	3845	911	867	356	171	375	2297	3131
10	2478	1183	1004	875	265	153	200	1513	4010	975	947	410	217	610	2532	2451
11	2748	1218	473	1293	291	209	197	1114	3794	800	1131	765	128	674	2522	2235
12	2402	1227	693	1087	308	227	220	1047	3390	704	1296	693	313	605	2236	2444
Mittel	2212·0	1128·6	621·0	882·4	290·4	221·2	181·5	1782·1	3277·0	689·1	778·0	450·6	171·8	505·1	2035·0	3048·0



ANALYSE DER LAPLACE'SCHEN KOSMOGONIE

VON

K. HILLEBRAND

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 4. JULI 1918

Die Laplace'sche Vorstellung über die Entwicklung des Sonnensystems kann mit einigen, allerdings wesentlichen Modifikationen als diejenige kosmogonische Hypothese betrachtet werden, die in allen ihren Konsequenzen der Konstitution dieses Systems am besten gerecht wird und sicherlich ihrer einfachen Voraussetzungen wegen in ihren Grundzügen als der wahrscheinlichste Entstehungsprozeß gelten kann.

Die epochalen Arbeiten von Poincaré und Darwin auf dem Gebiete der Kosmogonie ergaben neue und fundamentale Gesichtspunkte: die Theoreme über die Serien von Gleichgewichtsfiguren, die damit in Zusammenhang stehenden Fragen der Stabilität, die Vorgänge im Zweikörpersystem deformabler Massen — werden wohl die Grundlagen für alle weiteren Untersuchungen auf diesem Gebiete sein. In ihren Ausführungen wird nun immer vollkommene Homogenität der Urmasse vorausgesetzt. Vom rein spekulativen Standpunkt aus hat diese Annahme ihre völlige Berechtigung: stellt sie doch den einfachsten Fall jener Arten des Ausgangszustandes dar, der den Typus der Nebularhypothesen charakterisiert: den am wenigsten differentiierten Zustand; auch physikalisch ist sie durchaus berechtigt: ein Verhalten der Urmaterie, das dem einer inkompressiblen Flüssigkeit nahekommt, würde die typischen Züge des der Poincaré-Darwin'schen Theorie entsprechenden Prozesses aufweisen und es ist auch kaum zweifelhaft, daß eine Klasse kosmischer Systeme unter Bedingungen entstanden ist, die diesem Verhalten nahekommen. Andrerseits liegen aber in unserem Sonnensystem die Verhältnisse so, daß — mit einer einzigen Ausnahme — an einen Abtrennungsprozeß, wie er bei einer homogenen Masse erfolgt, nicht gedacht werden kann: die Begleitmassen sind um vieles kleiner als es das Ergebnis dieser Theorie zuläßt. Mit dem Aufgeben der Voraussetzung vollkommener oder wenigstens näherungsweiser Homogenität entfiele aber natürlich diese Unstimmigkeit, wenn theoretisch nachgewiesen werden könnte, daß ein ähnlicher Vorgang auch bei einer gegen das Innere zunehmenden Dichte möglich wäre: da die abgetrennten Begleitmassen aus den äußeren weniger dichten Schichten des primären Körpers bestritten werden, so könnten sie offenbar ihrer Masse nach einer viel niedrigeren unteren Grenze des Verhältnisses zur Hauptmasse genügen. Leider ist es bis jetzt nicht möglich gewesen, diesen allgemeineren und den wirklichen physikalischen Bedingungen entsprechenderen Fall einer exakten Analyse zuzuführen.

Unter diesen Umständen gewinnt nun die Laplace'sche Hypothese eine erhöhte theoretische Bedeutung: sie stellt gegenüber der vollkommenen Homogenität das andere Extrem des allgemeinen Dichtigkeitsverlaufes dar: den sprungweisen Übergang von der unendlich kleinen Dichte einer äußeren Hülle zu einer räumlich relativ kleinen aber starken zentralen Verdichtung. Der tatsächlich anzunehmende

Ausgangszustand wird zwischen diesen Extremen gelegen sein. Der Laplace'schen Hypothese wird also eine gleichmäßig rotierende Masse zugrunde gelegt mit einer zentralen Verdichtung, deren Ausdehnung und demgemäß auch Formveränderung vernachlässigt werden kann, umgeben von einer überaus großen Gashülle, deren Masse als verschwindend klein gegenüber der zentralen Masse angenommen wird.

Die mathematische Behandlung bietet bei dieser Annahme gar keine Schwierigkeiten, da hier die Niveauflächen von vornherein gegeben sind und sich in sehr einfacher Weise diskutieren lassen. Allerdings hat gerade dieser Umstand — bis jetzt wenigstens — verhindert, daß man darauf eine vermittelnde analytische Darstellung für den zwischenliegenden realen Fall der stetig zunehmenden Dichte hätte gründen können.

Die von Laplace in seiner »L'Exposition du Système du Monde« gegebenen allgemeinen Umrisse seiner kosmogonischen Theorie sind erst von E. Roche einer eingehenderen mathematischen Behandlung unterzogen worden.[1] Wesentliche Ergänzungen und Modifikationen erhielt diese Theorie durch Poincaré.[2]

Es sind insbesondere die Ausführungen von Roche, die vielfach Anregungen zu einem weiteren Ausbau dieser Theorie bieten, ja stellenweise einen solchen notwendig erscheinen lassen, um so mehr, als die auf dem anderen eben erwähnten Gebiet entstandenen neuen Anschauungen eine Revision seiner Darlegungen verlangen.

Eine Vervollständigung der Laplace-Roche'schen Kosmogonie in diesem Sinne soll der Zweck der nachfolgenden Untersuchungen sein, die auch Anhaltspunkte für eine quantitative Abschätzung bieten sollen, insofern der behandelte kosmogonische Prozeß für unser Sonnensystem in Frage kommt.

1. Die Niveauflächen der Gashülle.

Es sei M die Masse der zentralen Verdichtung, deren Dimensionen als unendlich klein angenommen werden, ω die Rotationsgeschwindigkeit der Nebelmasse, r die Distanz eines Punktes derselben von M, ϑ der Winkel von r mit der Rotationsachse, dann ist die Gleichung einer Niveaufläche

$$\frac{k^2 M}{r} + \frac{\omega^2}{2} r^2 \sin^2 \vartheta = C$$

zugleich auch die Gleichung der Meridiankurve dieser Rotationsfläche. Führt man den Parameter r_0 durch die Gleichung

$$r_0^3 = \frac{k^2 M}{\omega^2}$$

so ist r_0 jene Distanz in der Äquatorebene, in der sich die Attraktion von M und die Zentrifugalkraft das Gleichgewicht halten. Die Gleichung kann dann in die Form gebracht werden

$$\frac{2}{r} + \frac{r^2 \sin^2 \vartheta}{r_0{}^3} = \frac{3\,c}{r_0}$$

wo c eine willkürliche Konstante, und zwar eine wesentlich positive, dimensionslose Zahl ist. Diese Gleichung dritten Grades in r, der man auch die Form

$$\left(\frac{r}{r_0} \sin \vartheta\right)^3 - 3c \cdot \frac{r}{r_0} \sin \vartheta + 2 \sin \vartheta = 0$$

[1] Siehe E. Roche: Mémoire sur la figure d'une masse fluide soumise à l'attraction d'un point éloigné. P. 1., 2. u. 3. Acad. des sciences et lettres de Montpellier. 1849, 1850 u. 1851. Ferner: Mémoire sur la figure des atmosphères des corps célestes ibid. 1854, und insbes.: Essai sur la Constitution et l'origine du Système Solaire. Ibid. 1873.

[2] Siehe H. Poincaré: Leçons sur les Hypothèses cosmogoniques. Paris, 1911.

geben kann, hat nur dann reelle, positive Wurzeln, wenn

$$c^3 > \sin^2 \vartheta,$$

und zwar sind die beiden positiven Wurzeln gegeben durch

$$\frac{r}{r_0} \sin \vartheta = 2 \sqrt{c} \cos\left(\frac{\pi}{3} \pm \frac{1}{3} \text{arc} \cos \frac{\sin \vartheta}{c^{3/2}}\right).$$

Ist demnach $c \gtreqless 1$, so sind sämtliche Werte ϑ, also geschlossene Kurven, beziehungsweise geschlossene Niveauflächen möglich, während für $c < 1$ ein Grenzwert ϑ_0 existiert, der durch $\sin \vartheta_0 = c^{3/2}$ gegeben ist, so daß die Niveauflächen nicht geschlossen, physikalisch also bedeutungslos sind.

Aus

$$\frac{dr}{r d\vartheta} = \frac{\left(\frac{r}{r_0}\right)^3 \sin \vartheta \cos \vartheta}{1 - \left(\frac{r}{r_0}\right)^3 \sin^2 \vartheta} = 0$$

erhält man die extremen Werte von r für $\vartheta = 0$ und $\vartheta = \frac{\pi}{2}$.

Als Polarachse, $\vartheta = 0$, erhält man

$$R_1 = \frac{2}{3c} r_0 \quad \text{und} \quad r = \infty.$$

Für die Äquatordimension, $\vartheta = \frac{\pi}{2}$, existieren nur für $c > 1$ reelle Größen, die gegeben sind durch

$$R_0 = 2 r_0 \sqrt{c} \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \text{arc} \cos \frac{1}{c^{3/2}}\right) \text{ und}$$

$$R_0^1 = 2 r_0 \sqrt{c} \cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{1}{3} \text{arc} \cos \frac{1}{c^{3/2}}\right).$$

Setzt man $\sqrt{c} = \frac{1}{\sqrt[3]{\cos \gamma}}$, so sind diese beiden Werte

$$r_0 \cdot \frac{\cos \frac{\gamma}{3} \mp \sqrt{3} . \sin \frac{\gamma}{3}}{\sqrt[3]{\cos \gamma}}.$$

Da

$$\cos \frac{\gamma}{3} \mp \sqrt{3} \cdot \sin \frac{\gamma}{3} \lessgtr \sqrt[3]{\cos \gamma}$$

ist (die Ausführung ergibt die evidenten Ungleichungen

$$2 \sin \frac{2}{3} \gamma \mp \sqrt{3} \lessgtr 0,$$

wo γ im ersten Quadranten ist), so ist daraus ersichtlich, daß $R_0 < r_0$, $R_0' > r_0$ ist.

Die Meridiankurve besteht also im Falle $c > 1$ aus zwei getrennten Zweigen: einem geschlossenen mit den Hauptachsen R_0 und R_1, und einem Zweige, der die Äquatorachse im Punkte R'_0 schneidet und asymptotisch gegen eine zur Rotationsachse parallelen Geraden verläuft. Der erstere liegt ganz innerhalb, der letztere ganz außerhalb eines Kreises mit dem Halbmesser r_0. Offenbar hat nur der erstere physikalische Bedeutung.

Für diesen ersten, geschlossenen Zweig der Meridiankurve ist also

$$r = \frac{2\, r_0 \sqrt{c}}{\sin \vartheta} \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \operatorname{arc\,cos} \frac{\sin \vartheta}{c^{3/2}}\right).$$

Die Reihenentwicklung ergibt

$$r = \frac{2}{3} \cdot \frac{r_0}{c} \left(1 + \frac{2^2}{3^3} \frac{\sin^2 \vartheta}{c^3} + \frac{2^4}{3^5} \frac{\sin^4 \vartheta}{c^6} + \ldots\right)$$

$$= \frac{2}{3} r_0 \cos^{2/3}\gamma \left[1 + \frac{2^2}{3^3} (\cos\gamma \sin\vartheta)^2 + \frac{2^4}{3^5} (\cos\gamma \sin\vartheta)^4 + \ldots\right].$$

Die beiden Achsen

$$R_0 = 2\, r_0 \frac{\cos \frac{1}{3}(\pi + \gamma)}{\cos^{1/3}\gamma} \quad \text{und} \quad R_1 = \frac{2}{3} r_0 \cos^{2/3}\gamma$$

nehmen mit wachsendem c ab, die Niveaufläche nähert sich der Kugelgestalt, da

$$\lim \frac{R_1}{R_0} = \lim_{\gamma = \frac{\pi}{2}} \frac{\frac{1}{3}\cos\gamma}{\cos\left(\frac{\pi + \gamma}{3}\right)} = 1 \quad \text{ist.}$$

Von besonderer Bedeutung für die kosmogonischen Vorgänge ist der Grenzfall $c = 1$.

Die beiden Achsen des geschlossenen Zweiges werden hier

$$R_0 = r_0 \quad \text{und} \quad R_1 = \frac{2}{3} r_0,$$

der Äquatorhalbmesser ist also gleich der Distanz, in welcher sich Attraktion und Zentrifugalkraft das Gleichgewicht halten. Es wird weiter $R_0' = R_0 = r_0$: die beiden Zweige vereinigen sich hier in einem Doppelpunkt, in welchen die Tangenten an beiden Zweigen einen Winkel von 120° einschließen.[1] Die entsprechende Niveaufläche hat also eine linsenartige Form, mit der Kante in der Äquatorebene. Die Gleichung der Meridiankurve ist

$$\frac{2}{r} + \frac{r^2 \sin^2 \vartheta}{r_0^{\,3}} = \frac{3}{r_0},$$

woraus

$$r = 2\, r_0 \frac{\sin \frac{\vartheta}{3}}{\sin \vartheta}$$

folgt. Für den Winkel zwischen dem Radiusvektor und der Normalen erhält man

$$tg\,(n, r) = \frac{1}{3\, r_0} \sqrt{(3\, r - 2\, r_0)(r + 2\, r_0)} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(3 \frac{\sin \frac{\vartheta}{3}}{\sin \vartheta} - 1\right)\left(\frac{\sin \frac{\vartheta}{3}}{\sin \vartheta} + 1\right)}.$$

Ist $c < 1$, so hat ϑ den Grenzwert ϑ_0 aus

$$\sin^2 \vartheta_0 = c^3,$$

[1] Über diese und andere Eigenschaften der Meridiankurven finden sich in etwas anderer Formulierung ausführlichere Darstellungen in den oben erwähnten Arbeiten von Roche und Poincaré. Vergl. auch Tisserand: Méc. cél. t. IV chap. 14.

die Kurve schneidet also die Äquatorachse nicht mehr. Die beiden Werte von r fallen für ϑ_0 zusammen und werden gleich $\frac{r_0}{c}$: der Radiusvektor berührt die Kurve, die also hier von Einem zusammenhängenden Zweig gebildet wird, der in der Distanz

$$R_1 = \frac{2\,r_0}{3\,c}$$

die Rotationsachse schneidet und asymptotisch zu einer zu dieser Achse parallelen Geraden verläuft. Ist $c < 1$ nur wenig von der Einheit verschieden, etwa $c = 1 - \varepsilon$, wo ε eine kleine Größe erster Ordnung ist, so ist der berührende Radiusvektor $r_0(1+\varepsilon)$ und bildet mit der Äquatorebene den Winkel $\sqrt{3\,\varepsilon}$.

2. Abtrennungsprozeß.

Für den Ausgangszustand wird man die Nebelmasse als begrenzt von einer geschlossenen Niveaufläche anzunehmen haben. Ihre Hauptachsen seien R_0 und R_1, wobei also $R_0 < r_0$ ist. Der Entwicklungsprozeß wird bedingt sein durch die infolge der Wärmeausstrahlung stattfindende Kontraktion der Nebelmasse, so daß die mit der Zeit stetig zunehmende Dichte derselben als unabhängige Veränderliche zu betrachten und zunächst die Frage zu erledigen ist, in welcher Weise dadurch die Parameter der begrenzenden Niveaufläche geändert werden.

Die Abhängigkeit von der Dichte ist durch die Forderung gegeben, daß die Masse, das Rotationsmoment und die Größe $\omega^2 r_0^3$, gemäß der Definition von r_0, konstant bleiben müssen.

Ist m die Masse, q die (mittlere) Dichte der Nebelhülle, so ist

$$m = \frac{4\,\pi}{3}\,q \int_0^{\frac{\pi}{2}} r^3 \sin\vartheta\,d\vartheta,$$

wo r der Wert für die Oberfläche ist, also nach dem früheren

$$r = \frac{2}{3}\cdot\frac{r_0}{c}\left(1 + \frac{2^2}{3^3}\,\frac{\sin^2\vartheta}{c^3} + \frac{2^4}{3^5}\,\frac{\sin^4\vartheta}{c^6} + \dots\right)$$

$$= R_1\,f(\vartheta, c),$$

wenn die Reihe

$$1 + \frac{2^2}{3^3}\,\frac{\sin^2\vartheta}{c^3} + \frac{2^4}{3^5}\,\frac{\sin^4\vartheta}{c^6} + \dots = f(\vartheta, c)$$

gesetzt wird. Es ist also

$$m = \frac{4\,\pi}{3}\,q\left(\frac{2\,r_0}{3\,c}\right)^3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} f^3(\vartheta, c)\sin\vartheta\,d\vartheta.$$

Die Ausführung der Integration ergibt für die ersten Glieder

$$m = \frac{4\,\pi\,q}{3}\left(\frac{2\,r_0}{3\,c}\right)^3\left[1 + \frac{8}{27}\cdot\frac{1}{c^3} + \frac{256}{3645}\,\frac{1}{c^6} + \dots\right] \quad \text{oder}$$

$$m = \frac{4\,\pi}{3}\,q\,R_1^3\left[1 + \frac{2^3}{3^3}\,\frac{1}{c^3} + \frac{2^8}{5.3^6}\,\frac{1}{c^6} + \dots\right] = \frac{4\,\pi}{3}\,q\,R_1^3\,F(c).$$

Für das Trägheitsmoment bezüglich der Rotationsachse ergibt sich

$$J = \frac{4\pi}{5} q \int_0^{\frac{\pi}{2}} r^5 \sin^3 \vartheta \, d\vartheta = \frac{4\pi}{5} q \left(\frac{2 r_0}{3c}\right)^5 \int_0^{\frac{\pi}{2}} f^5(\vartheta, c) \sin^3 \vartheta \, d\vartheta,$$

woraus die Reihenentwicklung folgt

$$J = \frac{4\pi q}{5} \left(\frac{2 r_0}{3c}\right)^5 \frac{2}{3} \left[1 + \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{c^3} + \frac{640}{1701} \frac{1}{c^6} + \ldots\right] \quad \text{oder}$$

$$J = \frac{2}{5} \cdot \frac{4\pi q}{3} R_1^5 \left[1 + \frac{2^4}{3^3} \cdot \frac{1}{c^3} + \frac{5.2^7}{7.3^5} \frac{1}{c^6} + \ldots\right] = \frac{2}{5} \frac{4\pi q}{3} R_1^5 F_1(c).$$

Da m, $J\omega$ und $\omega^2 r_0^3$ unverändert bleiben, so sind demnach

$$q \left(\frac{r_0}{c}\right)^3 F(c) = H, \quad \omega q \left(\frac{r_0}{c}\right)^5 F_1(c) = K, \quad \omega^2 r_0^3 = C \quad \text{Konstante.}$$

Die Elimination von ω und r_0 ergibt, daß

$$c^3 q^{1/3} \cdot \frac{F^{7/3}(c)}{F_1^2(c)} = \frac{H^{7/3} C}{K^2}$$

konstant bleiben muß. Wird nach einer bestimmten Zeit die Dichte q in $\frac{q}{\lambda^3}$ vergrößert, wo $\lambda < 1$ als Kontraktionsfaktor der mittleren linearen Dimension der Nebelmasse aufgefaßt werden kann, und geht c gleichzeitig in $c\gamma$ über, so muß nach der letzten Bedingungsgleichung

$$\gamma^3 = \lambda \frac{F_1^2(c\gamma)}{F_1^2(c)} : \frac{F^{7/3}(c\gamma)}{F^{7/3}(c)}.$$

Der Faktor von λ ist wenig von der Einheit verschieden und ändert sich nur sehr langsam mit γ, so daß man in erster Näherung $\gamma = \sqrt[3]{\lambda}$ annnehmen kann. Es ist daher auch $\gamma < 1$, das heißt, eine lineare Kontraktion λ verkleinert auch das c der begrenzenden Niveaufläche auf $c\sqrt[3]{\lambda}$. Eine genauere Ermittlung von γ kann an diesem Resultat wesentlich nichts ändern. Denn setzt man etwa

$$\frac{1}{\gamma^3} = 1 + \varepsilon$$

so ist näherungsweise

$$\frac{F(c\gamma)}{F(c)} = 1 + \frac{8}{27} \cdot \frac{\varepsilon}{c^3}, \quad \frac{F_1(c\gamma)}{F_1(c)} = 1 + \frac{16}{27} \cdot \frac{\varepsilon}{c^3}$$

und der Faktor von

$$\lambda : 1 + \frac{40}{81} \frac{\varepsilon}{c^3}, \qquad \text{daher}$$

$$\gamma = \sqrt[3]{\lambda} \left(1 + \frac{40}{243} \frac{\varepsilon}{c^3}\right),$$

so daß die Abnahme von c etwas weniger rasch vor sich geht, als die Proportionalität mit $\sqrt[3]{\lambda}$ angibt. Da γ nahezu gleich $1 + \frac{40}{243} \frac{\varepsilon}{c^3} - \frac{\varepsilon}{3}$ ist, so bleibt jedenfalls $\gamma < 1$ bestehen. Da nun der ursprünglichen geschlossenen Niveaufläche ein $c > 1$ entspricht, so nähert sich mit zunehmender Kontraktion die Oberfläche der Nebelmasse immer mehr und mehr jener Grenzfläche $c = 1$, für die die Attraktion im Äquator gerade durch die Zentrifugalkraft kompensiert wird.

Was die Änderung der beiden übrigen Parameter ω und r_0 anbelangt, so führt ihre Abhängigkeit von λ zu folgendem Resultat.

Aus

$$\frac{H}{C} = \frac{q}{\omega^2 c^3} F(c)$$

folgt, wenn ω durch die Kontraktion in $\nu\omega$ übergeht, daß

$$\frac{1}{\nu^2 \lambda^3 \gamma^3} \frac{F(c\gamma)}{F(c)} = 1$$

somit nach Substitution für γ

$$\nu = \frac{1}{\lambda^2} \left(\frac{F(c\gamma)}{F(c)}\right)^{5/3} \cdot \frac{F_1(c)}{F_1(c\gamma)} = \frac{1}{\lambda^2}\left(1 - \frac{8}{81} \cdot \frac{\varepsilon}{c^3}\right),$$

das heißt: die Rotationsgeschwindigkeit vergrößert sich nahezu im Verhältnis $\frac{1}{\lambda^2}$.

Ist μ der Reduktionsfaktor für die Grenzdistanz r_0 der geschlossenen Flächen, so erhält man aus

$$\omega^2 r_0^3 = C \qquad \nu^2 \mu^3 = 1 \qquad \text{woraus}$$

$$\mu = \lambda^{\frac{4}{3}} \left(\frac{F_1(c\gamma)}{F_1(c)}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{F(c)}{F(c\gamma)}\right)^{\frac{10}{9}}$$

oder näherungsweise

$$\mu = \lambda^{\frac{4}{3}}\left(1 + \frac{16}{243} \frac{\varepsilon}{c^3}\right) \quad \text{folgt.}$$

Während sich also die linearen Ausdehnungen der Gasmasse auf das λ-fache reduzieren, ziehen sich die Dimensionen der Grenzfläche auf das $\lambda^{\frac{4}{3}}$-fache zusammen, also rascher als die ersteren: die Kontraktion bewirkt also eine beständige Annäherung dieser äußersten geschlossenen Niveaufläche an die Oberfläche der Nebelmasse.

Die einzelnen Dimensionen der letzteren ändern sich natürlich nicht streng im Verhältnis λ, wenn man immer das sofortige Annehmen der der neuen Dichte entsprechenden Gleichgewichtsfigur voraussetzt.

Ist ρ der Reduktionsfaktor für den Radiusvektor

$$r = \frac{2 r_0}{3 c} f(\vartheta, c),$$

so ergibt sich aus dieser Gleichung

$$\rho = \lambda \left(\frac{F(c)}{F(c\gamma)}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{f(\vartheta, c\gamma)}{f(\vartheta, c)}$$

oder näherungsweise

$$\rho = \lambda \left[1 - \frac{8}{81} \frac{\varepsilon}{c^3} \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 \vartheta\right)\right].$$

Die Äquatorachse R_0 reduziert sich also auf den Betrag $\lambda R_0 \left(1 + \frac{4}{81} \frac{\varepsilon}{c^3}\right)$, die Polarachse R_1 auf $\lambda R_1 \left(1 - \frac{8}{81} \frac{\varepsilon}{c^3}\right)$. Wie man sieht, wird die Abplattung größer.

Der ursprüngliche Wert

$$\frac{R_0 - R_1}{R_0} = \frac{2^2}{3^3} \frac{1}{c^3} \left(1 + \frac{2^3}{3^3} \cdot \frac{1}{c^3} + \dots\right)$$

geht nach der Kontraktion über in

$$\frac{R_0 - R_1}{R_0} + \frac{2^2}{3^3} \cdot \frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{\varepsilon}{c^3} + \ldots$$

Solange nun $c > 1$, demnach $R_0 < r_0$ ist, vollzieht sich die Kontraktion der Nebelmasse ohne Änderung ihres Zusammenhanges. Schließlich wird, gemäß den gegebenen Proportionen der Änderungen der Parameter, für die Oberfläche jene Grenzfläche $c = 1$ erreicht werden, deren Äquatorachse $R_0 = r_0$ bis zu jenem singulären Punkt reicht, in welchem sich die Anziehung der zentralen Verdichtung und die Fliehkraft das Gleichgewicht halten. Um die Größenordnung der zur Erreichung dieses Zustandes nötigen Kontraktion zu erhalten, hat man hier $\gamma = \frac{1}{c}$ zu setzen, daher mit genügender Annäherung zu ihrer Bestimmung $\lambda = \frac{1}{c^3}$.

Mit derselben Genauigkeit kann hier für die Masse der Nebelhülle

$$m = \frac{4\pi}{3} \cdot q \left(\frac{2r_0}{3c}\right)^3$$

gesetzt werden, woraus mit Berücksichtigung von $r_0^3 \omega^2 = k^2 M$ folgt

$$\lambda = \left(\frac{3}{2}\right)^3 \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{m}{q} \frac{\omega^2}{M}.$$

Versteht man unter R einen mittleren Radius der ursprünglichen Nebelmasse, so daß $\frac{m}{q} = \frac{4\pi}{3} R^3$ ist, so wird

$$\lambda = \left(\frac{3}{2}\right)^3 \cdot \frac{\omega^2 R}{\frac{k^2 M}{R^2}},$$

das heißt, die zur Erreichung jener Grenzfigur nötige lineare Kontraktion ist ihrer Größenordnung nach bestimmt durch das Verhältnis der Fliehkraft im Äquator zur Anziehung der zentralen Verdichtung auf der ursprünglichen Begrenzungsfläche.

Bei einer weiteren Kontraktion, welche die physischen Dimensionen auf das λ-fache verringert, werden die Dimensionen der äußersten geschlossenen Niveaufläche auf das $\lambda^{\frac{4}{3}}$-fache reduziert, sie fällt also innerhalb der physischen Oberfläche, die außerhalb liegende Schichte wird sich längs einer um den Äquator offenen Niveaufläche auszubreiten suchen, das heißt also: in der Äquatorebene abströmen.

Dieses Abströmen wird nun allerdings nur bis auf relativ kleine Distanz über r_0 stattfinden: die Niveauflächen setzen die allen Massenteilchen gemeinsame Rotationsgeschwindigkeit voraus; bei der hier erfolgenden starken Zerstreuung der Materie ist kaum anzunehmen, daß die Rotationsgeschwindigkeit erhalten bleibt, die lineare Geschwindigkeit also proportional der wachsenden Distanz zunimmt. Die abströmenden Gasmoleküle werden vielmehr schon in unmittelbarer Nähe der Distanz r_0 selbständige Bahnen zu beschreiben beginnen und das um so eher, als — wie eine spätere Überlegung zeigen wird — die innere Reibung bei dem ganzen Prozeß kaum eine merkliche Rolle spielen kann. Da nun für die Äquatorpunkte die Relation $\omega^2 r_0^3 = k^2 M$ besteht, so ist für die aus der Umgebung des Äquators abströmenden Teilchen die Bedingung einer Kreisbahn nahezu erfüllt.

Der Abtrennungsprozeß der Äquatorteilchen wird also in der Weise stattfinden, daß diese in der Äquatorebene abgelagert werden mit der ihrer Distanzen entsprechenden Kreisgeschwindigkeiten, so daß die abgelöste Materie eine flache Scheibe bilden wird, deren Umlaufsgeschwindigkeiten von ihrer Distanz a vom Zentrum des Nebels nach der Relation $\omega^2 a^3 = k^2 M$ abhängen.

Die aus höheren Breiten längs der Niveaufläche $c = 1$ gegen den Äquator ableitenden Teilchen haben eine kleinere lineare Geschwindigkeit, dringen also in der Äquatorebene in mehr oder weniger exzentrischen elliptischen Bahnen wieder in das Innere der Nebelmasse.

Der ganze Prozeß würde auf diese Weise ein kontinuierlicher sein und insbesondere keinen Anlaß zur Bildung isolierter ringartiger Abtrennungsfiguren geben.

3. Ringbildung.

a) Innere Ringe.

Die Bildung innerer Ringe, auf deren Möglichkeit zuerst Roche aufmerksam gemacht hat, beruht auf dem Umstand, daß die aus höheren Breiten abströmenden Teilchen der äußersten Nebelschichte wieder, wie eben erwähnt, in das Innere der Nebelmasse eindringen.

Die Geschwindigkeit eines aus der Poldistanz ϑ in die Äquatorebene gelangenden Teilchens ist

$$g = \omega r \sin\vartheta = 2\,\omega\, r_0 \sin\frac{\vartheta}{3},$$

wird also in dieser um M als Brennpunkt eine Ellipse beschreiben, deren Apheldistanz r_0 ist und der eine Aphelgeschwindigkeit g entspricht. Ist g_0 die Geschwindigkeit eines Äquatorpunktes vermöge der gemeinsamen Rotation, so ist

$$g_0 = \omega\, r_0 = k\sqrt{\frac{M}{r_0}} \quad \text{und} \quad g = 2\, g_0 \sin\frac{\vartheta}{3}.$$

Für die Halbachse a und die Exzentrizität ε der elliptischen Bahn findet man aus

$$a(1+\varepsilon) = r_0 \quad \text{und} \quad \frac{k^2 M}{a}\,\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} = 4\, g_0^2 \sin^2\frac{\vartheta}{3}$$

$$\varepsilon = 1 - 4\sin^2\frac{\vartheta}{3} \qquad a = \frac{1}{2}\cdot\frac{r_0}{1-2\sin^2\frac{\vartheta}{3}},$$

die Periheldistanz

$$q = \frac{2\, r_0 \sin^2\frac{\vartheta}{3}}{1-2\sin^2\frac{\vartheta}{3}}$$

und den Parameter

$$p = 4\, r_0 \sin^2\frac{\vartheta}{3}.$$

Die Geschwindigkeitskomponente im Radiusvektor

$$\frac{dr}{dt} = k^2 M\,\frac{\varepsilon\sin v}{\sqrt{p}} = g_0\,\frac{1-4\sin^2\frac{\vartheta}{3}}{2\sin\frac{\vartheta}{3}}\sin v,$$

wo v die wahre Anomalie des Partikels in der elliptischen Bahn bedeutet.

Da der Schnittpunkt zweier zum selben ϑ gehörigen Bahnen gleichen, entgegengesetzten Anomalien entspricht, so wird der Totaleffekt des Durchkreuzens aller dieser elliptischen Bahnen im Durchschnitt das Nullwerden dieser Radialkomponente nach sich ziehen; im selben Sinn wirkt auch ein möglicherweise merklicher Widerstand der rotierenden Hauptmasse. Es werden also schließlich nur Geschwindigkeiten senkrecht zum Radiusvektor erhalten bleiben können, also Kreisströme resultieren (die Roche'schen »inneren Ringe«).

Die Winkelgeschwindigkeit in der ursprünglich elliptischen Bahn ist gegeben durch

$$\frac{dv}{dt} = \frac{k\sqrt{Mp}}{r^2} = \frac{\omega}{8\sin^3\frac{\vartheta}{3}}\left[1+\left(1-4\sin^2\frac{\vartheta}{3}\right)\cos v\right]^2 = \frac{2\,\omega\sin\frac{\vartheta}{3}\cdot r_0^2}{r^2}$$

also im Perihel

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_0 = \frac{\omega}{2\sin^3\frac{\vartheta}{3}}\left(1-2\sin^2\frac{\vartheta}{3}\right)^2,$$

daher

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_0 \gtreqless \omega\,.$$

Die Distanz vom Zentrum, in welcher sich die resultierenden Kreisströme bewegen werden, hängt lediglich davon ab, einen wie großen Widerstand man der rotierenden Hauptmasse zuschreiben will. Ist dieser als unendlich klein zu veranschlagen, so werden nach Vernichtung der Radialkomponenten nur jene Bahnen von dauerndem Bestand sein, die die Bedingung der Kreisbewegung um ein Attraktionszentrum erfüllen, für welche als die Winkelgeschwindigkeit

$$\frac{dv}{dt} = \frac{k\sqrt{M}}{r^{3/2}},$$

das ist aber nach dem Flächensatz für $r = p$ erfüllt.

Übt also die rotierende Gasmasse keinen merklichen Widerstand aus, so werden sich die aus der Poldistanz ϑ abströmenden Teilchen zu einem inneren Ring vom Radius $4\,r_0\,\sin^2\frac{\vartheta}{3}$ vereinigen, mit einer der Kreisbahn entsprechenden Rotationsgeschwindigkeit, die demnach größer ist als die gemeinsame Rotation der Hauptmasse, nämlich

$$\frac{\omega}{8\sin^3\frac{\vartheta}{3}}\,.$$

Setzt man hingegen einen erheblichen Widerstand der Gasmasse voraus, so werden die günstigsten Bedingungen für die Umwandlung in einen Kreisstrom dort sein, wo $\frac{dv}{dt} = \omega$ ist, nach der obigen Relation also in einer Distanz

$$r_0\sqrt{2\sin\frac{\vartheta}{3}},$$

die demnach größer ist, als der demselben ϑ entsprechende Ringradius bei vernachlässigbarem Widerstand.

Es entsprechen also jedem Breitenkreise ϑ der abströmenden Schichte zwei bestimmte Radien von Kreisbahnen innerhalb der Nebelmasse, je nachdem der Widerstand der letzteren als unmerklich oder als die Vorgänge beeinflußend angenommen wird, die also gegeben sind durch

$$h = 4\,r_0\sin^2\frac{\vartheta}{3} \quad \text{und} \quad h' = r_0\sqrt{2\sin\frac{\vartheta}{3}}.$$

Die Existenz dieser Kreisströme führt Roche zur Vorstellung der Bildung innerer Ringe, die das Bestehen solcher Begleitkörper erklären sollen, die sich innerhalb der Grenzdistanz r_0 bewegen, die der gegenwärtigen, also maximalen Rotationsgeschwindigkeit eines Hauptkörpers entspricht, mit anderen Worten: innerhalb der theoretischen Atmosphärengrenze des letzten Entwicklungsstadiums.

Roche setzt voraus, daß ein derartiger Kreisstrom ein Kondensationszentrum für die umgebenden Massen bildet und so Anlaß zur Bildung innerer Ringe gibt (s. »Essai....« p. 246).

Ein solcher Vorgang ist indessen kaum wahrscheinlich, da sich die Kreisströme der einen oder der anderen Art kontinuierlich über die Äpuatorebene der Nebelmasse verteilen und im allgemeinen keine irgendwie bevorzugte Kondensationsdistanz eintreten wird. Die Möglichkeit einer solchen ist aber immerhin nicht ausgeschlossen, allerdings auf eine von der Roche'schen Anschauung verschiedene Weise.

Man kann nach dem früheren annehmen, daß die Dimension der abströmenden Schichte in der Richtung des Radiusvektors diesem proportional ist, die Dicke der Schichte also gegeben ist durch

$$\varepsilon r \cos(r, n),$$

wo ε eine sehr kleine konstante Größe und $\sphericalangle(r, n)$ der Winkel zwischen dem Radius und der Flächen normalen ist. Auf dem Oberflächenelement

$$\frac{r^2 \sin \vartheta \, d\vartheta \, d\varphi}{\cos(r, n)}$$

liegt also ein Massenelement der Schichte, welches proportional ist der Größe

$$\varepsilon r^3 \sin \vartheta \, d\vartheta \, d\varphi = 8 \varepsilon r_0^3 \frac{\sin^3 \frac{\vartheta}{3}}{\sin^2 \vartheta} d\vartheta \, d\varphi.$$

Dieses Massenelement gelangt nun durch den früher gegebenen Vorgang in die Äquatorebene im Innern der Nebelmasse, und zwar in die Distanz h und bedeckt dort das Flächenelement $hd\varphi dh$; die Dichte der eingedrungenen Materie wird demnach an dieser Stelle proportional sein der Größe

$$\frac{\varepsilon r^3 \sin \vartheta \, d\vartheta}{h \, dh}.$$

Bei der Kreisbahnbildung ohne Widerstandseffekt ist

$$h = 4 r_0 \sin^2 \frac{\vartheta}{3}, \qquad h\,dh = \frac{32}{3} r_0^2 \sin^3 \frac{\vartheta}{3} \cos \frac{\vartheta}{3},$$

demnach die Dichte proportional der Größe

$$D = \frac{3}{4} \cdot \frac{\varepsilon r_0}{\sin^2 \vartheta \cos \frac{\vartheta}{3}}.$$

Der variable Faktor $\frac{1}{\sin^2 \vartheta \cos \frac{\vartheta}{3}}$ fällt vom Anfangswert ∞ bis zu einem Minimum bei $\vartheta = 84° \, 52'$ im Betrage von 1·145 und wird für $\vartheta = 90°$ gleich 1·155. Anfangs- und Endwert sind natürlich für die Bildung der inneren Kreisströme belanglos, da die Umgebung von $\vartheta = 0$ sich mit der zentralen Verdichtung vereinigen wird, während die von $\vartheta = 90$ der sich abtrennenden Materie angehört.

Der zweite Fall, die Bildung von Kreisströmen bei merklichem Widerstand, gibt für die Dichte derselben

$$\frac{\varepsilon r^3 \sin \vartheta \, d\vartheta}{h' \, dh'},$$

wo $h' = r_0 \sqrt{2 \sin \frac{\vartheta}{3}}$ ist. Die Substitution gibt für die analoge proportionale Größe

$$D' = 24 \varepsilon r_0 \frac{\sin^3 \frac{\vartheta}{3}}{\sin^2 \vartheta \cos \frac{\vartheta}{3}},$$

eine Größe, die mit dem Wert Null beginnt und — wie leicht einzusehen ist, bis $\vartheta = 90°$ beständig anwächst.

Man sieht, daß keine dieser Dichteverteilungen für sich Anlaß zu einer ringartigen Konzentration innerhalb der Nebelmasse bietet.

Zur besseren Übersicht der beiden Verteilungen sollen die Proportionalgrößen D und D' als Funktionen des Abstandes vom Zentrum der Nebelmasse gegeben werden.

Setzt man $\frac{h}{r_0} = \rho$, so ist für $D: \rho = 4\sin^2\frac{\vartheta}{3}$ und für D': $\rho = \sqrt{2\sin\frac{\vartheta}{3}}$; so wird dann

$$D = \frac{4}{9}\cdot\frac{1}{\rho\left(1-\frac{\rho}{3}\right)^2\left(1-\frac{\rho}{4}\right)^{1/2}} \quad \text{und} \quad D' = \frac{4}{3}\,\frac{\rho^2}{\left(1-\frac{\rho^4}{3}\right)^2\left(1-\frac{\rho^4}{4}\right)^{1/2}}.$$

Man erhält daraus

ρ	D	D'
0·0	∞	0·000
0·1	4·839	0·013
0·2	2·617	0·053
0·3	1·902	0·121
0·4	1·559	0·218
0·5	1·368	0·350
0·6	1·255	0·533
0·7	1·189	0·796
0·8	1·155	1·208
0·9	1·145	2·436
1·0	1·155	3·464

Das Minimum von D 1·1448 ist bei $\rho = 0·898$.

Wie aus der Gleichung

$$\left(\frac{1-\frac{\rho^4}{3}}{1-\frac{\rho}{3}}\right)^2\cdot\left(\frac{1-\frac{\rho^4}{4}}{1-\frac{\rho}{4}}\right)^{\frac{1}{2}} = 3\rho^3$$

hervorgeht, sind die Dichten in beiden Fällen für die Distanz $\rho = 0·79$ dieselben.

Nun folgt aber aus den bisherigen quantitativen Beziehungen der bemerkenswerte Umstand, daß eine Verschiedenheit des physikalischen Verhaltens der Schichten der Nebelmasse Veränderungen in der Dichteverteilung der inneren Kreisströme hervorbringen, die den Charakter von ringförmigen Kondensationen haben können.

Es sei beispielsweise die zentrale Verdichtung so beschaffen, daß auftreffende Massenteilchen von ihr festgehalten, also dauernd der Nebenhülle entzogen werden, von letzterer werde aber kein merklicher Widerstand geleistet. Dann kommen für die Ringbildung nur jene Teilchen in Betracht, deren Periheldistanzen größer sind als der Äquatorhalbmesser dieses zentralen Kernes. Es sei dieser ρ_0 in Einheiten r_0; da die Periheldistanz q, die dem Breitenkreis ϑ entspricht,

$$q = \frac{2\,r_0\sin^2\frac{\vartheta}{3}}{1-2\sin^2\frac{\vartheta}{3}}$$

ist, so ist der Grenzwert ϑ_0 gegeben durch

$$\sin^2 \frac{\vartheta_0}{3} = \frac{1}{2} \frac{\rho_0}{1+\rho_0}$$

und die Ströme werden aus Partikeln gebildet, deren ursprüngliche Poldistanz $\vartheta > \vartheta_0$ war.

Die innerste Kreisbahn erster Art ist daher vom Radius

$$\bar{\rho} = 2 \sin^2 \frac{\vartheta_0}{3} = 2 \frac{\rho_0}{1+\rho_0},$$

also bei der hier immer vorausgesetzten Kleinheit von ρ_0 in nahezu doppelter Äquatordistanz. Zieht man nun dabei den Umstand in Rechnung, daß die Dichte D dieser Kreisströme in größerer Distanz relativ gering und nur wenig variabel ist, in unmittelbarer Umgebung der Zentralmasse aber außerordentlich rasch ansteigt, bei $\bar{\rho}$ aber nahezu unvermittelt auf Null sinkt — Zusammenstöße in dieser Region $< \bar{\rho}$ lassen Tangentialgeschwindigkeiten übrig, die das Teilchen wieder aus dieser Zone bringen — so resultiert offenbar etwas außerhalb $\bar{\rho}$ eine ausgeprägte ringartige Kondensation.

(Es möge hier bemerkt werden, daß die Gesamtheit der Saturnringe diesen Verhältnissen entspricht). Es ist klar, daß analoge, wenn auch vielleicht weniger ausgeprägte Schwankungen im Verlauf der Dichte der Kreisströme eintreten werden, wenn man gewisse Zonen verschiedenen physikalischen Verhaltens der Nebelmasse annimmt, wie es auch in der Natur der Sache liegt.

Die wahrscheinlichste Annahme wird wohl die sein, daß unmittelbar nach der zentralen Verdichtung, die quantitativ die Hauptmasse nach der Laplace'schen Hypothese bildet, eine Zone merklichen Widerstandes mit der hinzukommenden Dichteverteilung D' folgt und erst in den äußeren Schichten die Bedingungen für die von der gemeinsamen Rotation unabhängigen Kreisbahnen gegeben sind.

Nimmt man, um nur dem Wesentlichen dieser Verhältnisse Rechnung zu tragen, in der Äquatordistanz ρ_1 ein sprungweises Aufhören der Widerstandsfähigkeit der Nebelhülle an, so wird die Verteilung D sicher bis zur Distanz

$$\bar{\rho}_1 = 2 \frac{\rho_1}{1+\rho_1}$$

stattfinden, weil bis zu diesem Wert $\bar{\rho}_1$ die entsprechenden ϑ Ellipsen ergeben, deren Periheldistanzen außerhalb ρ_1 liegen, das heißt: von der Oberfläche der Nebelmasse an bis zur Distanz $\bar{\rho}_1 > \rho_1$ werden ausschließlich Kreisbahnen auftreten, die der von ω unabhängigen Keppler'schen Bewegung entsprechen. Da $\vartheta = 90°$ oder $\rho = 1$ schon der sich nach Außen abtrennenden Materie angehört, so kann man annehmen, daß die Dichte dieser inneren Kreisbahnen erster Art von dem Minimalbetrag unmittelbar unter der Grenzfläche bis zur Distanz $\bar{\rho}_1$ in der in der Tabelle angegebenen Weise ansteigt.

Andrerseits ist aber klar, daß keine derartigen Kreisbahnen mehr gebildet werden können, wenn die Stelle $r = p$, an der die laterale Geschwindigkeitskomponente der Kreisbewegung entspricht, innerhalb ρ_1 liegt.

Es wird daher die Dichte D dieser Kreisbahnen innerhalb $\bar{\rho}_1$ zunächst weniger rasch zunehmen, als es bei ausschließlichem Vorkommen dieser Bahnen, wie es die Tabelle voraussetzt, der Fall sein würde — schließlich abnehmen und in ρ_1 Null werden. Es ist demnach hier wieder die Bedingung für ein Maximum, also für eine ringartige Kondensation für die von der gemeinsamen Rotation unabhängigen Kreisbahnen gegeben, und zwar an einer zwischen ρ_1 und $\bar{\rho}_1$ liegenden Stelle.

Innerhalb ρ_1 werden nur Kreisströme von der gemeinsamen Rotationsgeschwindigkeit ω auftreten, deren Dichteverlauf D' demnach bis ρ_1 den in der Tabelle gegebenen Zahlen entspricht.

Außerhalb ρ_1 wird die Dichte D' dieser Bahnen rasch auf Null sinken, also auch für diese, die bis ρ_1 anwächst, ein Maximum eintreten.

Nebenbei bemerkt wird auch D' nicht schon von der Oberfläche des zentralen Kernes von Null ansteigen, sondern erst von der Distanz $2\frac{\rho_0}{1+\rho_0}$ an, wenn ρ_0 der Äquatorhalbmesser des Kernes ist, also in einer Entfernung $\rho_0 \cdot \frac{1-\rho_0}{1+\rho_0}$ von der Oberfläche des letzteren, die bei der Kleinheit von ρ_0 nahezu gleich dieser Größe ist.

Wie der tatsächliche Verlauf von D und D' zwischen ρ_1 und $\bar{\rho}_1$ stattfindet, ist ohne einer weitläufigen Wahrscheinlichkeitsbetrachtung, die außerdem auf ziemlich willkürlichen Grundlagen aufgebaut sein müßte, schwer anzugeben; das Wesentliche der gegebenen Folgerungen liegt in dem Umstand, daß für beide Arten von Kreisströmen innerhalb dieser Zone eine Maximaldichte existiert: für D' in der unmittelbaren Umgebung von ρ_1 und für D etwas innerhalb $\bar{\rho}_1 > \rho_1$. Im allgemeinen wird das innere — für D' geltende — Maximum um vieles kleiner sein als das äußere, durch D gegebene. Die Superposition beider in dieser Zone wird für die Maximumstellen, in denen die Dichte der anderen Bahnen verschwindend klein ist, bedeutungslos sein.

(Nimmt man als Grenze ρ_1 des verschiedenen Verhaltens der Nebelmasse etwa 0·5 an, so ist die Dichte D' im ersten Maximum durch die Zahl 0·35 gegeben. Dann ist $\bar{\rho}_1 = 0 \cdot 67$, in die innere Umgebung dieser Distanz fällt das zweite Maximum D, das ungefähr der Zahl 1·3 proportional ist, also etwa den vierfachen Betrag des ersten hat.)

Das Ringsystem des Planeten Saturn würde dem Sinn dieser Folgerungen entsprechen.

Roche denkt sich diese inneren Kreisströme, herrührend von den erkalteten Partikeln der Oberflächenschichte, von wesentlich anderer Konstitution als die Nebelhülle, etwa als Meteoritenströme in dieser.

Es muß hier noch auf einen Umstand hingewiesen werden, der für die Vorgänge bei der Bildung äußerer Ringe von Belang sein wird.

Für die außerhalb ρ_1 sich bildenden, von ω unabhängigen Kreisströme können, wie oben bemerkt, nur solche ursprünglich elliptische Bahnen in Betracht kommen, für welche der Parameter $\frac{p}{r_0} > \rho_1$, weil nur dann in der widerstandslosen Region die für eine Kreisbahn notwendige Winkelgeschwindigkeit erreicht wird. Diese Bedingung gibt als Grenze eine ursprüngliche Poldistanz ϑ_1, die bestimmt ist durch

$$\sin\frac{\vartheta_1}{3} = \frac{1}{2}\sqrt{\rho_1}.$$

Alle Teilchen, deren ursprüngliche Lage $\vartheta < \vartheta_1$ war, werden zu den Kreisströmen zweiter Art innerhalb der Widerstandszone ρ_1 beitragen. Nun entspricht andrerseits nach dem Obigen die Winkelgeschwindigkeit ω in der Distanz ρ_1 einer elliptischen Bahn, die aus der Poldistanz ϑ'_1 erzeugt wird, wo

$$\sin\frac{\vartheta'_1}{3} = \frac{1}{2}\rho_1^2,$$

demnach $\vartheta'_1 < \vartheta_1$ ist.

Die aus der Zone zwischen ϑ_0 und ϑ'_0 abströmenden Teilchen werden also die Winkelgeschwindigkeit ω in einem Punkt ihrer elliptischen Bahn erreichen, der innerhalb des Bereiches ρ_1 liegt und damit den angegebenen regulären Verlauf der Dichte D' ergeben. Die aus der Zone zwischen ϑ'_1 und ϑ_1 nehmen aber insofern eine Ausnahmsstellung ein, als sie außerhalb ρ_1 eine zu geringe Winkelgeschwindigkeit haben, um eine Keppler'sche Kreisbahn in diesen widerstandslosen Außenraum auszuführen, also in den Raum ρ_1 gelangen müssen, wo sie aber schon an der Grenze ρ_1 eine größere Winkelgeschwindigkeit als ω besitzen. Ihre Aufnahme in diesen Raum und die durch den Widerstand bewirkte Umwandlung ihrer größeren Winkelgeschwindigkeit in die gemeinsame Rotationsgeschwindigkeit ω wird einerseits

einen weiteren Zuwachs über dem gegen ρ_1 zu stattfindenden regulären Ansteigen der Dichte D' ergeben also ein noch ausgeprägteres Maximum bei ρ_1 bewirken, andrerseits aber auch die Tendenz haben die Rotation dieses inneren Teiles mit merklichem Widerstand zu beschleunigen, ein Umstand, der für die folgenden Betrachtungen von Bedeutung ist.

b) Äußere Ringe.

Der oben nachgewiesene Abtrennungsprozeß besteht in einer kontinuierlichen Ablagerung von Teilchen der äußersten abströmenden Schichte aus der Umgebung des Äquators in der jeweiligen Distanz r_0 und mit einer Rotationsgeschwindigkeit, die die Bedingung einer Kreisbahn erfüllt, so daß in der Äquatorebene ein flacher Ring zurückbleibt, in welchem die Rotationsgeschwindigkeiten ω in den Distanzen r_0 nach dem Gesetze $\omega^2 r_0^3 = k^2 M$ verteilt sind, der sich also stetig bis an die jeweilige Oberfläche der Nebelmasse fortsetzt. Eine Abtrennung im eigentlichen Sinne, die Bildung isolierter ringförmiger Begleitmassen, findet nach dem Bisherigen demnach nicht statt. Es wurde dabei eine durch die Abkühlung bedingte gleichmäßige und gleichzeitige Kontraktion der ganzen Nebelmasse vorausgesetzt und gezeigt, daß einer linearen Kontraktion λ der physischen Dimensionen der Masse eine Reduktion $\lambda^{\frac{4}{3}}$ der Dimensionen der theoretischen Atmosphärengrenze entspricht, woraus das kontinuierliche Abströmen der äußersten Schichte gefolgert werden konnte. Tatsächlich wird nun eine solche gleichmäßige Kontraktion nicht stattfinden können, sondern als primärer Prozeß bei den Oberflächenschichten beginnen. Es kann gezeigt werden, daß dadurch ein intermittierender Abtrennungsvorgang, also die Bildung isolierter Ringe eingeleitet wird, und daß die stärkere Verkleinerung der theoretischen Grenfläche gegenüber der der physischen Oberfläche nur das durchschnittliche Verhalten dieser beiden Änderungen anzeigen kann.

Der Grund dieses Alternierens liegt in der Wirkungsweise zweier einfacher extremer Fälle.

Angenommen, eine Kontraktion erstrecke sich nur über eine Oberflächenschichte von der relativ geringen Dicke δ, deren Masse also proportional der Größe

$$q\,[(R+\delta)^3 - R^3],$$

wo q die Dichte und R ein mittlerer Radius ist.

Bei der Kontraktion bleibt — mit genügender Näherung —

$$q\,\frac{\delta}{R}\left(1 + \frac{\delta}{R}\right)$$

unverändert. Die Masse μ der Schichte ist proportional ($\sim$)

$$\mu \sim q\,R^3\,\frac{\delta}{R}\left(1 + \frac{\delta}{R}\right).$$

Mit der gleichen Näherung ist das Trägheitsmoment j der Schichte

$$j \sim q\,R^5\,\frac{\delta}{R}\left(1 + 2\,\frac{\delta}{R}\right) \quad \text{oder}$$

$$j \sim \mu\,R^2\left(1 + \frac{\delta}{R}\right).$$

Wenn man nun auch voraussetzt, daß die durch oberflächliche Kontraktion bedingte Beschleunigung sich zunächst nur auf diese Schichte bezieht, also größer ist als nach Übertragung auf die ganze Masse, so ändert sich diese so, daß ωj konstant bleibt. Es werde also δ in $\lambda\delta$ verändert, dann wird wegen $\omega\,\mu\,R^2\left(1 + \frac{\delta}{R}\right) = \text{Const.}$ aus ω: $\omega\left[1 + (1-\lambda)\,\frac{\delta}{R}\right]$ und wegen $\omega^2 r_0^3 = \text{Const.}$ die Dimen-

sionen der Grenzfläche in das $1 - \frac{2}{3}(1-\lambda)\frac{\delta}{R}$ fache verwandelt, während der Reduktionsfaktor der physischen Dimensionen $1-(1-\lambda)\frac{\delta}{R}$, also kleiner ist: im Falle einer bloß oberflächlichen Kontraktion bleibt die Verkleinerung der Grenzfläche hinter der der physischen Oberfläche zurück, es findet demnach kein Abströmen statt.

Nimmt man andrerseits an, die Kontraktion erstrecke sich nur auf den zentralen Kern M, dessen mittlerer Radius h_0 sehr klein gegen r_0 ist. Die Verkleinerung der äußeren Dimensionen der Nebelhülle ergibt sich aus der Bedingung, daß $r_0^3 - h_0^3$ konstant bleibt. Wird h_0 in λh_0 geändert, so geht die Äquatordimensionen r_0 auf einen Betrag

$$R_0 = r_0\left(1 - \frac{1-\gamma^3}{3}\cdot\frac{h_0^3}{r_0^3}\right)$$

zurück, also um eine Größe, die numerisch höher ist als dritter Ordnung in $\frac{h_0}{r_0}$. Es wird also zunächst überhaupt keine merkliche Änderung in den Verhältnissen der Oberfläche der Nebelhülle eintreten, nur ein Zurückweichen von der theoretischen Grenze um einen außerordentlich kleinen Betrag. Letztere bleibt ja konstant, so lange die Rotation der äußeren Schichten nicht geändert wird. Die Kontraktion des Kernes erteilt diesem eine vergrößerte Rotationsgeschwindigkeit, die nach und nach auch den äußeren Schichten eine Beschleunigung erteilen wird, so daß schließlich auch die Grenzfläche sich zusammenzieht. Man kann nun sofort erkennen, daß diese Reduktion niedriger Ordnung, also ungleich größer ist, als die der physischen Dimensionen, so daß also nach dem Ausgleich der Rotationsgeschwindigkeiten ein Abströmen der äußeren Schichte eintreten wird.

Man kann für das Trägheitsmoment J annehmen

$$J \sim h_0^2 M + r_0^2 m$$

wo m wieder die Masse der Nebelhülle ist. Nach der zentralen Kontraktion ist

$$J' \sim \lambda^2 h_0^2 M + R_0^2 m$$

woraus für die geänderte gemeinsame Rotationsgeschwindigkeit ω' folgt

$$\frac{\omega}{\omega'} = 1 - \frac{1-\lambda^2 + \frac{2}{3}(1-\lambda^3)\frac{h_0}{r_0}\cdot\frac{m}{M}}{1+\frac{r_0^2}{h_0^2}\cdot\frac{m}{M}}.$$

Da der zweite Teil des Zählers viel höherer Ordnung ist, so genügt es zur Beurteilung der Größenordnung der Änderung von ω zu setzen:

$$\frac{\omega}{\omega'} = 1 - \frac{1-\lambda^2}{1+\frac{r_0^2}{h_0^2}\cdot\frac{m}{M}}.$$

Die geänderte Grenzdimension r_0' erhält man aus

$$\left(\frac{r_0'}{r_0}\right)^3 = \left(\frac{\omega}{\omega'}\right)^2$$

$$\frac{r_0'}{r_0} = 1 - \frac{2}{3}\,\frac{1-\lambda^2}{1+\frac{r_0^2}{h_0^2}\cdot\frac{m}{M}}.$$

Während also die physischen Äquatordimension um den unmerklichen Betrag

$$\frac{1}{3}(1-\lambda^3)\frac{h_0^3}{r_0^3}\cdot r_0$$

zurückgeht, verkürzt sich die Distanz des Äquatorpunktes der Atmosphärengrenze um die Größe

$$\frac{2}{3}\cdot\frac{1-\lambda^2}{1+\frac{r_0^2}{h_0^2}\cdot\frac{m}{M}}r_0$$

die offenbar niedrigerer Ordnung ist, als die vorige, wie immer man auch die Größenordnung von $\frac{m}{M}$ gegen $\frac{h_0}{r_0}$ veranschlagen will.

Es ist jedenfalls

$$2\frac{1-\lambda^2}{1+\frac{r_0^2}{h_0^2}\cdot\frac{m}{M}} > (1-\lambda^3)\frac{h_0^3}{r_0^3}$$

oder

$$\frac{2}{1+\frac{\lambda^2}{1+\lambda}} > \frac{h_0}{r_0}\cdot\frac{m}{M}+\frac{h_0^3}{r_0^3}$$

woraus hervorgeht, daß die Verkleinerung der physischen Dimensionen mindestens als eine kleine Größe zweiter Ordnung gegen die der Atmosphärengrenze anzunehmen ist. Während also eine oberflächliche Kontraktion ein momentanes Zurückweichen der Oberfläche der Nebelhülle vor der Grenzfläche zur Folge hat, wird eine zentrale Kontraktion zunächst keine merkliche Änderung an der Nebelhülle hervorrufen, nach einer gewissen Zeit aber, die durch die Wirkungsweise der inneren Reibung gegeben ist, ein Eindringen der Grenzfläche in die Nebelmasse und somit ein Abströmen der äußeren Schichte veranlassen.

Es kann gezeigt werden, daß diese beiden entgegengesetzten Folgen einen gewissen Rythmus in die äußere äquatoriale Ablagerung der Nebelmasse und damit die Möglichkeit einer Ringbildung bringen.

Es soll hier nur nebenbei bemerkt werden, daß die Annahme einer bis an die äußersten Schichten wirksamen inneren Reibung in keinem Widerspruch steht mit der einer merklich widerstandlosen äußeren Zone, die sich ja auf den Grad der Wirkung auf stark kondensierte Partikel der äußersten Schichte bezieht.

Unmittelbar nach dem Abströmen einer Oberflächenschichte ist die nun freigewordene Oberfläche identisch mit der momentanen Grenzfläche. Kennzeichnet man wieder, wie oben, die physische Oberfläche durch ihre Äquatordimension R_0, die theoretische Atmosphärengrenze durch die analoge Größe r_0, so ist in diesem Moment $R_0 = r_0$.

Das Freiwerden dieser neuen Oberfläche wird nun für die benachbarten Schichten eine unvermittelt raschere Wärmeausstrahlung und Kondensation zur Folge haben, demnach den oben erwähnten ersten Fall statuieren, in welchem R_0 rascher abnimmt als r_0; es wird also unmittelbar darauf $R_0 < r_0$, der Abströmungsprozeß also unterbrochen. Da — wie in 2. gezeigt wurde — bei gleichmäßiger Kondensation der ganzen Masse $R_0 > r_0$ bleibt, so wird beim Fortschreiten der Kondensation nach dem Innern sich dieses Verhältnis wieder einstellen, daher die Abströmung von Neuem beginnen, allerdings verzögert durch die fortgesetzte stärkere Kondensation der äußersten Schichten. Andrerseits bewirkt aber die Bildung der inneren Ströme offenbar eine Beschleunigung des Wiedereintretens der Abströmung, weil durch diese eine Vergrößerung der Rotationsgeschwindigkeit von den zentralen

Regionen aus besorgt wird. Durchschnittlich erzeugen ja die primären elliptischen Bahnen überhaupt eine Verzögerung in den äußeren und eine Beschleunigung in den inneren Schichten, bei Voraussetzung einer widerstandslosen äußeren Zone mindestens keine Beschleunigung in dieser; die dort entstehenden Kreisströme sind ja ohne merklichen Einfluß auf die Rotation der Nebelmasse. Die inneren widerstandsfähigen Zonen und insbesondere die zentrale Verdichtung erfahren aber jedenfalls — wie oben bemerkt wurde — eine Rotationsbeschleunigung. Es ist fraglich, ob — wie Poincaré anzunehmen scheint — eine Beschleunigung als sekundäre Wirkung dadurch eintritt, daß die abgeströmten Oberflächenteilchen niedrigerer Temperatur in den zentralen Teil eine Kondensation und Vergrößerung der Geschwindigkeit der Rotation hervorrufen, weil dieser Vorgang wohl durch ihren eigenen Geschwindigkeitsverlust und Wärmegewinn ganz kompensiert werden kann. Jedenfalls findet durch das Auftreten der inneren Ströme eine Beschleunigung der Rotation der zentralen Teile ohne merkliche Abnahme der äußeren Dimensionen der Nebelhülle statt, also der eben diskutierte zweite Fall, bei dem die schließliche Übertragung der entsprechenden Beschleunigung auf die Oberflächenpartien ein plötzliches Sinken der Grenzfläche unter die physische Oberfläche bewirkt. Es wird demnach die wieder eintretende, den Durchschnittsverhältnissen entsprechende Umgleichung $R_0 > r_0$ verstärkt.

Einer Unterbrechung der Abströmung folgt also eine gesteigerte Wiederaufnahme des äquatorealen Abtrennungsprozesses, womit die Bildung äußerer isolierter Nebelringe als eine durchaus natürliche Folge der Kondensationsvorgänge erscheint.

Der hier entwickelte alternierende Abtrennungsprozeß, der im Großen und Ganzen den Anschauungen von E. Roche über die Bildung äußerer Ringe entspricht, beruht, wie man sieht, wesentlich auf der Laplace'schen Annahme, daß die ursprüngliche Materie aus zwei, ihrem physikalischen Verhalten nach ganz verschiedenen Teilen besteht: einem zentralen Teil von überwiegender Masse und großer Dichte und einer Nebelhülle, deren Masse und Widerstandsfähigkeit dagegen als unendlich klein anzunehmen ist. Dabei ist aber nicht zu übersehen, daß die ganze Überlegung eigentlich nur zeigt, daß aus diesen gegebenen Ausgangsverhältnissen die Möglichkeit eines derartigen intermittierenden Ablösungsvorganges gefolgert werden kann. Immerhin ist es von vornherein ebensogut denkbar, daß die beiden Momente, die diese Periodizität bedingen: oberflächliche Abkühlung und Akzeleration von den zentraleren Gegenden aus, sich zu einer simultanen Resultanten zusammensetzen und so eine Art stationären Prozesses erzeugen, der dann natürlich auf den Durchschnittseffekt des ständigen Abströmens hinauskommen muß. Das eine ist aber klar, daß, falls ein solcher stationärer Zustand eingetreten ist, jede Störung in einem dieser Vorgänge ein derartiges Alternieren im Zurückgehen der physischen Oberfläche und der Grenzfläche einleiten muß, so daß dieser stationäre Abströmungszustand wohl kaum als ein stabiler zu betrachten sein wird. Nun ist der Beginn des Abtrennungsprozesses sicher mit einem Nacheinander der beiden entgegengesetzten Effekte verbunden.

Das ursprüngliche Annähern der Oberfläche des Nebels an die Grenzform ist ein stetiger Prozeß, der nach erfolgter Koinzidenz der beiden das erste Abströmen zur Folge hat. Unmittelbar darauf tritt die Unterbrechung ein, die erst wieder nach Übergreifen dieser Kondensation auf die zentralen Gebiete oder durch die viel spätere indirekte Winkung der inneren Ströme aufgehoben wird. Es ist also wohl anzunehmen, daß sich die Bedingung für den alternierenden Vorgang schon anfänglich eingestellt haben wird.

Der Prozeß der aufeinanderfolgenden Ringbildungen wird dann überhaupt ein Ende nehmen, wenn die dem Ausgangsstadium der Laplace'schen Hypothese entsprechenden räumlichen quantitativen und physikalischen Verhältnisse nicht mehr stattfinden. Es liegt nahe, zu vermuten, daß sich nach starker Verminderung der Nebelhülle und Vergrößerung der zentralen Verdichtung schließlich der stationäre Abströmungszustand einstellt, bis diese endlich jene Serie von Formen annimmt, für welche die homogene rotierende Flüssigkeitsmasse ein annäherndes Bild gibt.

4. Allgemeine Bedingung für äquatoriale Abströmungen.

Das wesentliche aller jener Kosmogonien, die dem Typus der Nebularhypothesen angehören, besteht naturgemäß in der Annahme eines Ausgangszustandes, der sowohl in der Verteilung der Materie als auch bezüglich der ursprünglichen Bewegungsverhältnisse den geringsten Grad von Differentierung enthält, also eines Zustandes, der möglichst weit von dem eines gegliederten kosmischen Systems entfernt ist, ohne daß — zunächst wenigstens — die anderen, rein physikalischen Seiten dieser Annahme in Erwägung gezogen werden. So wäre der homogene, gleichförmig rotierende Gasball jener Urzustand, der im weitesten Sinne der Idee der Nebularhypothesen entsprechen würde. Laplace mußte diese einfachste Annahme eines primären Zustandes ablehnen, da nach dem damaligen Stand der Kenntnisse über homogene Gleichgewichtsfiguren ein solcher zu keiner Systembildung führen konnte. Die auf Laplace und Jakobi folgenden Untersuchungen von Poincaré und Darwin haben diese Anschauungen gründlich geändert und völlig neue Gesichtspunkte für die Erörterung dieser Fragen geschaffen. Wie eingangs erwähnt, führen diese Untersuchungen zu Abtrennungsformen, deren Massenverhältnisse im allgemeinen in unserem Sonnensystem nicht realisiert sind. Die Annahme Laplace's, die als die einfachste ursprüngliche Massenverteilung gelten konnte, bei der Abtrennungsvorgänge möglich sind, bleibt demnach für unser Sonnensystem als die wahrscheinlichste und vom Standpunkt der Nebularhypothesen am meisten gerechtfertigte bestehen. Das charakteristische dieser Hypothese, die Möglichkeit ringartiger Abtrennungen und damit die Anfangsbedingungen einer Systembildung zu geben, ist eine Folge der angenommenen extremen Massenverteilung und der vorausgesetzten gleichförmigen Rotation.

Das ganz andere Verhalten homogener Massen, wie es die Untersuchungen von Poincaré und Darwin zeigen, legt die Frage nahe, worin eigentlich die wesentlichen Momente für die Möglichkeit äquatorialer Ringbildungen liegen und innerhalb welcher Grenzen Abweichungen von der Laplace'schen Annahme dieser Möglichkeit bestehen lassen. Es ist ja immerhin denkbar, daß physikalische Erwägungen eine Modifikation der Anfangsbedingungen notwendig erscheinen lassen. So hat die Annahme einer durchaus gleichförmigen Rotation a priori gewiß dieselbe Berechtigung, wie alle derartigen einfachsten Annahmen bei diesem Typus kosmogonischer Hypothesen; zieht man andrerseits die enorme Länge jener Zeiträume in Betracht, die notwendig sind, um selbst bei bedeutender innerer Reibung Geschwindigkeiten in Gasmassen auszugleichen, so scheint es keineswegs eine müssige Frage zu sein, unter welchen Bedingungen auch eine nicht gleichmäßige Rotationsgeschwindigkeit einen derartigen Abtrennungsprozeß noch ermöglicht.

Poincaré hat über diesen Punkt in dem oben erwähnten Werk: »Leçons sur les Hypothèses cosmogoniques« Andeutungen gegeben, dier hier in etwas allgemeinerer Weise zur Ausführung gelangen sollen.

Es sei $V(x,y,z)$ das Gravitationspotential der kosmischen Masse, $\omega(x,y,z)$ die Rotationsgeschwindigkeit eines Punktes x, y, z derselben. Es soll dabei nichts weiter vorausgesetzt werden, als daß die Rotationen um eine gemeinsame Achse erfolgen, daß der Körper ein Rotationskörper und die Äquatorebene eine Symmetrieebene ist. Setzt man die innere Reibung als unmerklich voraus, was für die äußeren Schichten und daher für die Bestimmung der Oberfläche erlaubt sein wird, ist p der Druck und q die Dichte, ferner

$$\Pi = \int \frac{dp}{q}$$

so lauten die hydrostatischen Gleichungen, wenn die gemeinsame Rotationsachse als z-Achse gewählt wird:

$$\frac{\partial (V - \Pi)}{\partial x} + \omega^2 x = 0$$

$$\frac{\partial (V - \Pi)}{\partial y} + \omega^2 y = 0$$

$$\frac{\partial (V - \Pi)}{\partial z} \qquad = 0\,.$$

Daraus ergibt sich als Gleichgewichtsbedingung

$$\omega^2 R dR = d(\Pi - V)$$

wo $R = \sqrt{x^2 + y^2}$, der Abstand von der Rotationsachse, ist.

Da rechts ein vollständiges Differential steht, so muß ω eine bloße Funktion von R sein. Führt man statt dieser eine Funktion $\varphi(R)$ von R ein durch die Definitionsgleichung

$$\omega^2 R = \frac{d\varphi}{dR},$$

so ist die Gleichung der Oberfläche dann gegeben durch

$$V(x, y, z) + \varphi(R) = C.$$

Die Gleichung der Meridiankurve wird, wenn man für $y = 0$ die Funktionsbezeichnung beibehält,

$$U(x, z) = V(x, z) + \varphi(x) = C.$$

Vorausgesetzt, daß überhaupt eine Gleichgewichtsfigur möglich ist, muß für einen gewissen Bereich der willkürlichen Konstanten C eine Schar geschlossener Zweige dieser Kurven existieren. Soll nun die Möglichkeit einer Abströmung bestehen, so muß sich geometrisch das so äußern, daß der geschlossene Zweig sich für einen bestimmten Wert der Konstanten C mit einem der nicht geschlossenen in einem mehrfachen Punkt vereinigt und über diesen Wert hinaus dann dafür ein einziger nicht geschlossener Kurvenzug besteht. Notwendige Bedingung ist also die Existenz eines reellen singulären Punktes, der — so wie der zugehörige Wert der Konstanten — aus den Gleichungen

$$U(x, z) = C, \quad \frac{\partial U}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial z} = 0$$

folgt. Das Nullwerden der z-Komponente $\frac{\partial U}{\partial z}$ findet gemäß der vorausgesetzten Symmetrie in der Äquatorachse, also für $z = 0$, statt; das Verschwinden der x-Komponente $\frac{\partial U}{\partial x}$ bedeutet aber, daß sich an dieser Stelle Attraktion und Fliehkraft das Gleichgewicht halten müssen. Dort wird also die Abströmung einsetzen. Diese Bedingung kann auch so formuliert werden: faßt man die Konstante C gemäß der Gleichung $C = U(x, 0)$ als Funktion des Schnittpunktes der Kurve mit der Äquatorachse auf, so muß diese Funktion an der singulären Stelle einen stationären Wert haben.

Die letzten Gleichungen genügen aber nicht zum Bestehen der geforderten Verhältnisse, da sie nur die Bedingung für einen singulären Punkt geben; es sollen sich hier zwei reelle Kurvenzweige kreuzen und für diesen Fall muß die Diskriminante

$$D = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}\right)^2$$

negativ sein.

Nun ist $\frac{\delta U}{\delta z} = \frac{\delta V}{\delta z}$, die z-Komponente der Attraktion, Null für alle Punkte der Äquatorachse, also

$$\frac{\delta^2 U}{\delta x \, \delta z} = 0.$$

Dieselbe Komponente wird von dieser Achse an für positive z negativ und umgekehrt, das heißt, es ist

$$\left(\frac{\delta^2 U}{\delta z^2}\right)_{z=0} < 0.$$

Es muß demnach $\frac{\delta^2 U}{\delta x^2}$ positiv sein, das heißt also $U(x, 0)$ an der singulären Stelle im Minimum haben. Faßt man wieder C als Funktion des Äquatorpunktes auf, so erhält man den Satz:

Notwendige und hinreichende Bedingung für die Möglichkeit äquatorialer Abströmungen ist die, daß die Konstante der Niveauflächen als Funktion des Äquatorschnittpunktes ein Minimum besitzt.[1]

Es läßt sich daraus eine Grenze für die Art der Geschwindigkeitsverteilung angeben, innerhalb welcher eine Systembildung in der Art der Laplace'chen Hypothese möglich ist. Sind wieder V und φ die obigen Funktionen für $y = 0$ und $z = 0$, so muß für jene Werte, die der Gleichung

$$\frac{\delta V}{\delta x} + \frac{\delta p}{\delta x} = 0$$

genügen, die Umgleichung bestehen

$$\frac{\delta^2 V}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 p}{\delta x^2} > 0$$

oder für

$$\omega^2 x + \frac{\delta V}{\delta x} = 0 \quad \text{muß} \quad \omega^2 + 2\,\omega\, x \frac{d\omega}{dx} + \frac{d^2 V}{d x^2} > 0 \quad \text{sein.}$$

Eliminiert man durch die Gleichung einen in V auftretenden Parameter des Problems, so ergibt die Ungleichung eine allgemeine für die betreffende Gattung der Gleichgewichtsfiguren geltende Grenze der Geschwindigkeitserteilung. Für den Fall der Laplace'schen Hypothese ist

$$V = \frac{k^2 M}{x}, \text{ demnach } \omega^2 x^3 = k^2 M \text{ und}$$

$$3\,\omega^2 + 2\,\omega\, x \frac{d\omega}{dx} \quad \text{oder}$$

$$\frac{d(\omega^2 x^3)}{dx} > 0.$$

Die Geschwindigkeiten müssen also weniger rasch abnehmen, als der Verteilung bei isolierten Kreisbahnen entspricht.

(Es ist auch insbesonders eine Verteilung unmöglich, die der Erhaltung eines für alle Teilchen gleichen Flächenmomentes entspricht, da in diesem Falle

$$\omega\, x^2 = c, \text{ einer Konstanten wäre, also}$$

$$\omega^2 x^3 = \frac{c}{x} \quad \text{und} \quad \frac{d(\omega^2 x^3)}{dx} < 0).$$

---

[1] (Wurde von Poincaré für den Fall der Laplace'schen Massenverteilung a. a. O. ausgesprochen.)

5. Bildung der Planeten.

Unmittelbar nach der Bildung eines äußeren Ringes sind die in diesem stattfindenden Rotationsgeschwindigkeiten gegeben durch die Relation

$$\omega^2 r^3 = k^2 M$$

so daß also das Gefälle der Rotationsgeschwindigkeit

$$\frac{d\omega}{dr} = -\frac{3}{2}\frac{k\sqrt{M}}{r^{5/2}}$$

ist.

Die nächste Änderung in der Konstitution dieses Ringes ist eine weitere Kontraktion desselben. Eine solche hat nun eine Verminderung des Geschwindigkeitsgefälles zur Folge. Findet eine lineare Kontraktion λ um einen mittleren unverändert bleibenden Elementarring r_0 statt, so erhält durch diese irgend ein Ringradius r den Wert r' aus

$$r' - r_0 = \lambda(r - r_0) \quad \text{oder} \quad r' - r = (r_0 - r)(1 - \lambda)$$

$$\text{so daß } r' \gtrless r, \text{ je nachdem } r \lessgtr r_0.$$

Da bei Erhaltung des Flächenmomentes die entsprechende neue Rotationsgeschwindigkeit ω' der Gleichung

$$\omega' r'^2 = \omega r^2$$

genügt, so erhält man für diese

$$\omega' = \frac{k\sqrt{M}}{r'^{3/2}}\sqrt{1 + \frac{1-\lambda}{\lambda}\cdot\frac{r'-r_0}{r'}}.$$

Für die innerhalb r_0 gelegenen Partikeln ist $r' < r_0$, demnach ω' kleiner als die der Distanz r' entsprechende Kreisbahngeschwindigkeit, für die außerhalb gelegenen ist ω' größer als diese, die Abnahme der Rotationsgeschwindigkeit mit der Distanz ist also durchschnittlich langsamer als bei der ursprünglichen Verteilung.

Das Geschwindigkeitsgefälle $\frac{d\omega}{dr}$ selbst wird demzufolge auch nach der Kontraktion geringer sein als zu Beginn, wenigstens innerhalb der hier vorauszusetzenden Ringdimensionen. Es ergibt sich dafür

$$\frac{d\omega'}{dr'} = -\frac{3}{2}\cdot\frac{k\sqrt{M}}{r'^{5/2}}\cdot\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\cdot\frac{1-\frac{4}{3}(1-\lambda)\frac{r_0}{r'}}{\sqrt{1-(1-\lambda)\frac{r_0}{r'}}}.$$

Nun ist

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\cdot\frac{1-\frac{4}{3}(1-\lambda)\frac{r_0}{r'}}{\sqrt{1-(1-\lambda)\frac{r_0}{r'}}} < 1$$

für alle $\frac{r}{r_0} < \frac{5}{3}$, demnach $\frac{d\omega'}{dr'}$ dem absoluten Betrage nach kleiner als die ursprüngliche Abnahme $\frac{3}{2}\frac{k\sqrt{M}}{r^{5/2}}$.

Da die innere Reibung, die bei fortschreitender Kondensation merklich werden kann, den gleichen Effekt hat, so kann man annehmen, daß der weitere Prozeß durch eine Zunahme der Dichte und einen allmählichen Ausgleich der Rotationsgeschwindigkeiten bedingt wird.

Die zunächst zu behandelnde Frage wäre nun die nach der Möglichkeit des Bestehens solcher ringartiger Massenanordnungen bei gegebener Geschwindigkeitsverteilung. In dieser Allgemeinheit und insbesondere auch bei der näher kaum angebbaren Art der intermittierenden Ringablagerung ist es wohl nicht möglich, ein Stabilitätskriterium zu formulieren, das allen im weiteren Verlauf auftretenden physikalischen Verhältnissen Rechnung trägt. Alle über ringförmige Massen oder Massenanordnungen angestellten Untersuchungen setzen Verhältnisse voraus, die von den hier anzunehmenden wesentlich verschieden sind.

Für das Anfangsstadium können allerdings jene Verhältnisse als gegeben angenommen werden, die den Maxwell'schen Untersuchungen über das System der Saturnringe zugrunde gelegt sind, die diese als Meteoritenringe betrachtet, deren einzelne Teilchen selbständige Kreisbahnen ausführen. Die Stabilität dieses stationären Bewegungszustandes hängt von dem Verhältnis der Ringmasse zu der des Hauptkörpers ab, das unter einer bestimmten angebbaren Grenze liegen muß.[1]

Als eine weitere Konsequenz ergibt sich daraus für eine kontinuierliche Ringmasse eine angenähert bestimmbare obere Grenze der Dichte q, die der Bedingung genügen muß

$$4\pi k^2 q < \frac{\omega^2}{14}$$

eine Bedingung, die ja bei den Anfangsbedingungen dieser Hypothese immer erfüllt sein kann. Da bei der folgenden Kondensation die Dichte beständig zunimmt, der Mittelwert der Rotationsgeschwindigkeiten aber merklich derselbe bleibt, so wird irgend einmal die Stabilität aufhören zu bestehen und ein Zerfall des Ringkontinuums eintreten.

Es kann nun gezeigt werden, daß dieses Stadium schon früher eintreten muß, als der vollständige Ausgleich der Rotationsgeschwindigkeiten sich vollzogen, was wieder eine wesentliche Modifikation der Laplace'schen Anschauungen nach sich zieht.

Poincaré hat nämlich gezeigt, daß unter Umständen für gewisse Bereiche der Ringmasse auch eine untere Grenze der Dichte angegeben werden kann.

Unter Beibehaltung der in Nr. 4 gebrauchten Bezeichnungen ist die Gleichgewichtsbedingung einer gemäß der Funktion $\varphi(R)$ rotierenden Flüssigkeitsmasse

$$V + \varphi - \Pi = \text{Konst.}$$

Π ist eine wesentlich positive Größe, die wegen

$$\frac{d\Pi}{dp} = \frac{1}{q} > 0$$

mit p zugleich zu- oder abnimmt. Da p an der Oberfläche Null ist, daher im Innern ein Maximum haben muß, so muß dasselbe auch mit Π der Fall sein, daher auch $V + \varphi$ im Innern ein Maximum haben muß, oder es muß einen Bereich geben, in welchem

$$\frac{\partial^2(V+\varphi)}{\partial x^2} < 0 \quad \frac{\partial^2(V+\varphi)}{\partial y^2} < 0, \quad \frac{\partial^2(V+\varphi)}{\partial z^2} < 0.$$

Daraus leitet nun Poincaré ab, daß dort

$$4\pi k^2 q > 3\omega^2 + 2\omega r \frac{d\omega}{dr}$$

sein muß.[3]

---

[1] Siehe Maxwell: On the stability of the motion of Saturn's ring. Cambridge 1859.

[2] Siehe auch Poincaré: Hypothèses cosmogeniques p. 44.

[3] Poincaré l. c. p. 45 bis 48.

Ist der rechts stehende Ausdruck positiv, das heißt, nimmt $\omega^2 r^3$ mit r zu, so bedeutet das für jenen Bereich eine untere Grenze der Dichte. Unmittelbar nach der Ringbildung ist $\omega^2 r^3$ konstant, die rechte Seite daher Null und diese Bedingung immer erfüllt. Da bei zunehmender Kondensation das Gefälle von ω immer geringer wird, $\omega^2 r^3$ also mit r zunimmt, so stellt diese Ungleichung tatsächlich eine weitere Bedingung für die Dichte vor.

Das Maxwell'sche Stabilitätskriterium läßt übrigens von vornherein erkennen, ob man bei einem kosmischen System den Laplace'schen Entstehungsvorgang annehmen kann oder nicht. Sei r_0 wie oben die Äquatordimension bei Beginn des Abtrennungsprozesses, q_0 die (mittlere) Dichte der Nebelhülle, so wird diese Bedingung wegen $\omega^2 r^3 = k^2 M$, die Form annehmen

$$4\pi q_0 r_0^3 < \frac{1}{14} M.$$

Die Masse der Nebelhülle, deren Hauptachsen r_0 und $\frac{2}{3} r_0$ sind, ist der Größenordnung nach gegeben durch

$$m = \frac{8}{9} \pi q_0 r_0^3$$

woraus

$$m < \frac{M}{63}$$

also eine obere Grenze für die Gesamtmasse der Begleitkörper folgt, eine Bedingung, die in unserem Sonnensystem und auch in seinen Sekundärsystemen erfüllt ist, und zwar sind die Massenverhältnisse mit Ausnahme des Systems Erde-Mond weit unter dieser Grenze.

Ein bemerkenswerter Umstand soll noch erwähnt werden. Nimmt man an, daß die äußeren Teile der Nebelhülle homogen sind, so wird sich die Dichte derselben mit der Zeit merklich so ändern, wie $\frac{1}{r^3}$ das heißt, der Verlauf der Dichte der Ringmaterie wird so sein, daß $q r^3$ nahezu konstant bleibt. Ist also die obige Ungleichung beim Beginn der Abströmung erfüllt, so bleibt die Möglichkeit der Bildung stabiler Ringe auch weiter erhalten. Erst wenn die Abströmungen auf die inneren relativ dichteren Schichten übergreifen, wird schließlich die Stabilitätsbedingung nicht mehr erfüllt sein und die Bildung der Ringe ein Ende gefunden haben. Die weiteren Abströmungen werden eine Zone zerstreuter Materie bilden, deren kondensierte Partikel als eine meteoritische Wolke, die den Zentralkörper umgibt, bestehen bleiben werden.

Für einen unmittelbar nach dem Entstehen stabilen Ring wird also die Größe

$$\frac{56\pi k^2 q}{\omega^2} = \alpha < 1$$

sein. Eine Kontraktion, die die linearen Dimensionen des Querschnittes auf den λ-fachen Betrag reduziert, vergrößert die Dichte auf $\frac{q}{\lambda^2}$, während die mittlere Rotationsgeschwindigkeit unverändert bleibt. Zum Bestehen der Stabilität ist daher notwendig, daß $\frac{\alpha}{\lambda^2} < 1$ ist, und diese wird für eine Kontraktion $\lambda = \sqrt{\alpha}$ aufhören.

(Gilt genau genommen nur für einen mittleren Elementarring, allgemein müßte

$$\alpha < \lambda^2 \left(\frac{r}{r'}\right)^4$$

sein, wie aus den obigen Relationen für die Kontraktionsvorgänge folgt, wo $r' - r = (r_0 - r)(1 - \lambda)$ ein kleiner Betrag ist, so daß wesentlich an der Größe der zum Aufhören der Stabilität nötigen

Kontraktion nichts geändert wird.) Die zum Zerfall notwendige Kontraktion hängt nach diesem Kriterium — wie es ja selbstverständlich ist — von einer Größe α ab, die ein Maß für die Abweichung des ursprünglichen Zustandes von der Stabilitätsgrenze ist. Die Poincaré'sche Ungleichung läßt aber folgern, daß die Kontraktion überhaupt nicht unter ein bestimmtes angebbares Maß sinken darf, wenn der Ring bestehen können soll. Die Forderung, daß einerseits

$$4\pi k^2 q < \frac{1}{14}\omega^2$$

sein soll, andrerseits, wenigstens in einem bestimmten Bereich der Ringmasse

$$4\pi k^2 q > 3\omega^2 + 2\omega r\frac{d\omega}{dr}$$

sein muß, läßt erkennen, daß der Bestand eines Ringes dann unmöglich ist, wenn an jeder Stelle desselben

$$3\omega^2 + 2\omega r\frac{d\omega}{dr} > \frac{1}{14}\omega^2$$

ist. Der Grenzfall wird also eintreten, wenn an irgend einer Stelle

$$\frac{41}{14}\omega + 2r\frac{d\omega}{dr} = 0$$

und im übrigen > 0 ist.

Führt man nun in diese Bedingung ω als solche Funktion von r ein, wie sie nach der Kontraktion λ stattfindet, so ergibt sich, daß sie dann sicher nicht mehr bestehen kann, wenn in allen seinen Punkten die Größe

$$\frac{41}{14}\cdot\frac{1}{r^{3/2}\sqrt{\lambda}}\sqrt{1-(1-\lambda)\frac{r_0}{r}} - 2r.\frac{3}{2}\frac{1}{r^{5/2}\sqrt{\lambda}}\cdot\frac{1-\frac{4}{3}(1-\lambda)\frac{r_0}{r}}{\sqrt{1-(1-\lambda)\frac{r_0}{r}}}$$

einen positiven Wert hat. Die Ausführung ergibt, daß dann

$$15(1-\lambda)\frac{r_0}{r} \lesseqgtr 1$$

ist. Ist r_a der äußere Ringhalbmesser, so wird diese Ungleichung für

$$\lambda = 1 - \frac{1}{15}\frac{r_a}{r_0}$$

überall erfüllt sein. Da man die Breite des Ringes als klein gegen seinen Radius voraussetzen kann, so wird nach einer Kontraktion, die in den linearen Dimensionen um Geringes weniger als $\frac{14}{15}$ beträgt, der Ring nicht mehr bestehen können.

Dabei ist zu bemerken, daß hier nur die Verringerung des Geschwindigkeitsgefälles in Rechnung gezogen wurde, die von der Kontraktion allein verursacht wird, also die Wirkung einer inneren Reibung nicht berücksichtigt wurde, so daß die zur Erreichung der angegebenen kritischen Kontraktion erforderliche Zeit eine Maximaldauer des Bestandes eines Ringes bedeutet.

Da für das Grenzstadium die Rotationsgeschwindigkeit in der Distanz r näherungsweise gegeben ist d rch

$$\omega = \frac{k\sqrt{M}}{r^{3/2}}\left[1+\frac{1}{30}\frac{r_a}{r_0}\left(1-\frac{r_0}{r}\right)\right]$$

so erkennt man, daß die Geschwindigkeitsverteilung noch wenig von der ursprünglichen abweicht, jedenfalls noch weit von der gleichförmigen Rotation entfernt ist.

Die Vorgänge, die nach dem Aufhören der Bedingungen für das Bestehen des Ringes eintreten, entziehen sich natürlich vollkommen einer Analyse: sie werden ja wesentlich bedingt durch zufällige Inhomogenitäten oder sonstige Unregelmäßigkeiten der Konfiguration. Es ist möglich, daß eine bereits vorhandene Stelle eines Dichtemaximums ein Konzentrationszentrum wird und zur unmittelbaren Bildung eines einheitlichen Himmelskörpers Anlaß gibt; es kann aber auch sein, daß der Ring in eine größere Zahl von Fragmenten zerfällt, die dann bei den geringsten Differenzen ihrer Distanzen, daher auch ihrer Umlaufszeiten und bei genügend großen Dimensionen im weiteren Zeitverlauf kollidieren und so durch ihre Wiedervereinigung zu einer Planetenbildung führen — es kann aber auch sein, daß die mechanischen Bedingungen für das Bestehen eines im Gleichgewicht befindlichen Massenkontinuums überhaupt nicht mehr vorhanden sind und eine Zone zerstreut bleibender Materie resultiert.

Kommt es aber auf die eine oder andere Weise zur Bildung einer einzigen Begleitmasse, so ist das eine sicher, daß diese eine retrograde Rotation haben wird, da das Aufhören der Ringstabilität bei einer Verteilung der Geschwindigkeiten eintritt, die noch wenig von dem ursprünglichen Abfall mit größer werdender Distanz verschieden ist. Wie immer auch der Vorgang der Vereinigung des instabil gewordenen Ringes zu einem geschlossenen Körper sein mag, so läßt sich doch von vornherein ein Schluß auf das Vorzeichen und die Größenordnung des Rotationsmomentes ziehen, das dem neuen um die Zentralmasse kreisenden Begleiters zukommt. Ist, wie oben, r_0 der Radius jenes Ringelementes, um das die Kontraktion stattgefunden hat, so daß die zugehörige Rotationsgeschwindigkeit ω_0 die Kreisbahnbedingung noch weiter erfüllt, und identifiziert man diese mit der Progressivbewegung des sich bildenden Planeten, was ja für den vorliegenden Gesichtspunkt ohneweiters erlaubt ist, so bestimmen die Relativgeschwindigkeiten der den verschiedenen r angehörigen Teilchen das Rotationsmoment des Planeten.

Ist $\omega_0 r_0 = g_0$, $\omega r = g$, so hat man offenbar $(g - g_0)(r - r_0)\,dm$ über die ganze Masse des Ringes zu summieren, um das Rotationsmoment des daraus entstehenden Planeten zu finden. Die Masse des zum Halbmesser r gehörigen Ringelementes ist $2\pi r q \delta\, dr$, wo δ die als sehr gering anzunehmende Dicke des Ringes bedeutet, für die irgend ein Mittelwert gedacht ist. Die Dichte q wird man proportional der reziproken dritten Potenz von r voraussetzen können. Nimmt man allgemeiner an

$$r q = r_0 q_0 \left(\frac{r_0}{r}\right)^n$$

und setzt $r = r_0(1 + \varepsilon)$, wo ε als kleine Größe erster Ordnung angesehen werden kann, so ist

$$dm = 2\pi q_0 r_0^2 \delta (1 - n\varepsilon)\, d\varepsilon.$$

Andrerseits war gefunden worden

$$\omega = \frac{k\sqrt{M}}{r^{3/2}} \sqrt{1 + \alpha\left(1 - \frac{r}{r_0}\right)}$$

wo $\alpha = \dfrac{1-\lambda}{\lambda}$ nach dem Vorigen eine kleine Größe ist, dann ist

$$g = \frac{k\sqrt{M}}{\sqrt{r_0}} \left(1 - \frac{\varepsilon}{2}(1 - \alpha)\right)$$

und

$$g - g_0 = -\frac{1}{2}\varepsilon g_0 (1 - \alpha).$$

Man erhält daraus für das Ratationsmoment

$$-\pi r_0^3 q_0 g_0 \delta (1-\alpha) \int_{-\varepsilon_1}^{+\varepsilon_2} \varepsilon^2 (1-n\varepsilon)\, d\varepsilon$$

also eine negative Größe, die nur unmerklich von der Veränderlichkeit der Dichte innerhalb des Ringes abhängt und deren angenäherter Wert

$$-\frac{2}{3}\pi r_0^3 q_0 g_0 \delta (1-\alpha) \varepsilon^3$$

ist, wo εr_0 die halbe Ringbreite bedeutet.

Die Masse des Ringes ist

$$4\pi \varepsilon r_0^2 \delta q_0$$

entspricht also einer Kugel mit dem Halbmesser $\sqrt[3]{3\varepsilon r_0^2 \delta} = h$. Das Trägheitsmoment dieser Kugel in Bezug auf einen Durchmesser ist

$$\frac{2^3 . 2^{2/3}}{5} \cdot \pi \varepsilon^{5/3} r_0^{10/3} \delta^{5/3} q_0.$$

Die Rotationsgeschwindigkeit des aus dem Ring sich bildenden Planeten wird — der Größenordnung nach — gegeben sein durch

$$\omega = -\frac{5}{2^2 . 3^{5/3}} \frac{\varepsilon^{4/3}}{r^{1/3} \delta^{2/3}} (1-\alpha) g_0.$$

Ist ω_0 die mittlere Rotationsgeschwindigkeit des Ringes, also $g_0 = r_0 \omega_0$, setzt man weiter das Verhältnis der Ringdicke zur Breite

$$\frac{\delta}{2\varepsilon r_0} = \eta$$

so erhält man

$$\omega = -\frac{5}{2^{8/3}\, 3^{5/3}} (1-\alpha) \left(\frac{\varepsilon}{\eta}\right)^{2/3} \omega_0$$

also eine retrograde Rotation, deren Größenordnung wesentlich bedingt ist durch die Verhältnisse der ursprünglichen Ringdimensionen.

(Der numerische Koeffizient ergibt

$$\omega = -0 \cdot 126 (1-\alpha) \left(\frac{\varepsilon}{\eta}\right)^{2/3} \omega_0).$$

Die nächste Frage ist nun die, unter welchen Bedingungen überhaupt die Bildung einer einzigen zusammenhängenden Masse möglich ist. Man wird dabei zunächst zu unterscheiden haben, ob in der gegebenen Distanz von der Zentralmasse die durch diese bedingte deformierende Kraft als merklicher Betrag anzunehmen ist oder nicht.

Ein weiterer Unterschied in der Beurteilung der Möglichkeit einer Planetenbildung wird in dem Umstand liegen, ob die sich vereinigende Masse als nahezu homogen anzusehen ist oder ob diese Vereinigung um eine schon vorgebildete zentrale Verdichtung vor sich geht. Da im ursprünglichen Ring die Dichte nur um sehr geringe Beträge variiert, so ist der erstere Fall immerhin denkbar, wenn es sich um die sukzessive Vereinigung gleichartiger Ringfragmente handelt.

Was den ersten Punkt, den Einfluß der Attraktion der Zentralmasse auf die Gleichgewichtsfigur des Begleitkörpers anbelangt, so ist die Größenordnung einer Gezeitendeformation ζ, wenn man diese

in Einheiten eines mittleren Halbmessers ausdrückt, gegeben wurch

$$\zeta \sim \frac{M}{m}\left(\frac{h}{r_0}\right)^3$$

so daß also diese Deformation vernachlässigt werden kann, wenn $\left(\frac{h}{r_0}\right)^3$ eine kleine höhere Ordnung ist, als $\frac{m}{M}$ (gleichgiltig, welche Annahme man über die Massenverteilung von m macht). Im Falle der Homogenität, wo man $h^3 = 3\,\varepsilon\, r_0\, \delta = 6\,\varepsilon^2 \eta\, r_0^3$ setzen kann, ist

$$\zeta \sim \frac{M}{m}\varepsilon^2 \eta$$

so daß es hier auf die Größenordnung der Dimensionsverhältnisse des ursprünglichen Ringes in Bezug auf das Massenverhältnis ankommt.

Die Weiterentwicklung des planetarischen Nebels wird sich wesentlich verschieden gestalten, je nachdem ζ zu vernachlässigen oder ein endlicher Betrag ist.

6. Planetenbildung ohne merkliche Gezeitenwirkung.

Die Bedingungen für das Bestehen einer Gleichgewichtsfigur werden demnach in diesem Fall diejenigen sein, die für eine rotierende Masse gelten, deren Teilchen nur unter ihrer gegenseitigen Gravitatioswirkung stehen. Poincaré hat für diesen Zustand ganz allgemein eine obere Grenze der Rotationsgeschwindigkeit angeben können, die aus der notwendigen Bedingung folgt, daß die resultierende Normalkomponente in einem Oberflächenpunkt gegen das Innere der Masse gerichtet sein muß.[1] Dieselbe lautet

$$\omega^2 < \frac{2\pi k^2 m}{v}$$

wo v das Volumen der rotierenden Masse m ist. Es läßt sich ohne eine Annahme über die Dichtigkeitsverteilung in m a priori nur der Schluß ziehen, daß bei genügender Verdünnung die Bildung eines einzigen Körpers aus der Gesamtmasse m unmöglich werden kann. Nimmt man an, daß die Ansammlung der planetarischen Nebelmasse um einen schon stark kondensierten Kern stattfindet, so daß neu hinzukommende Massen nur das Volumen vergrößern, die Masse aber merklich nicht ändern, so wird diese weitere Aufnahme der Nebelmaterie höchstens bis zu jenem v stattfinden können, für welches $\omega^2 = \frac{2\pi k^2 m}{v}$ ist, was natürlich mit dem Erreichen der theoretischen Atmosphärengrenze identisch ist. Ist aber schon zu Beginn für die ganze Masse die obige Bedingung erfüllt, so wird durch die weitere Kontraktion ebenfalls diese Grenzform erreicht werden. Auf jeden Fall beginnt irgend einmal der gleiche Abtrennungsprozeß, wie beim ursprünglichen Sonnennebel, falls die physikalischen Bedingungen dafür auch weiter erhalten bleiben, der zur Bildung eines Sekundärsystems führen kann.

Dem Falle anfänglicher Homogenität sind allerdings engere Grenzen gezogen. Während die allgemeine Poincaré'sche Forderung dafür

$$\frac{\omega^2}{2\pi k^2 q_0} < 1$$

[1] Siehe Bull. astr. II. 1885 p. 117, und auch Poincaré: Figures d'équilibre d'une masse fluide. Paris 1902, p. 11.

ist, verlangt eine ganze Klasse homogener Gleichgewichtsfiguren, nämlich die der elliptischen zu ihrer Stabilität die Bedingung, daß

$$\frac{\omega^2}{2\pi k^2 q_0} < 0 \cdot 1871.$$

Es ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß andere Gleichgewichtsformen mit anderen Stabilitätsgrenzen existieren, jedenfalls kann aus diesem Einzelfall der Schluß gezogen werden, daß auch für andere Flächengattungen die hinreichenden Stabilitätsbedingungen wesentlich engere Grenzen ergeben, als die allgemein gültige notwendige Grenzbedingung Poincaré's.

Die Annahme, daß die Bildung eines anfänglich homogenen Planeten an die Ermittlung der ellipsoidischen Stabilitätsbedingung gebunden ist, wird demnach für die vorliegenden Betrachtungen gerechtfertigt sein, bei denen es sich ja doch nur um die allgemeinen Umrisse quantitativer Beziehungen handeln kann.

Auch hier wird im weiteren Verlauf eine sekundäre Systembildung stattfinden können, aber in der Art des Poincaré-Darwin'schen Abtrennungsprozesses.

In beiden Fällen ist die Umlaufsbewegung der entstandenen Satelliten eine rückläufige in Bezug auf die Planetenbewegung. Wesentlich dasselbe Resultat wird aber auch eintreten, wenn die Gezeitenwirkung nicht gerade verschwindend klein, aber doch nicht so groß ist, um die durch die Kontraktion bedingte Änderung der Rotationsgeschwindigkeit aufzuheben. Die Bedingung für das Bestehen solcher Verhältnisse ergibt sich aus den Untersuchungen G. H. Darwin's über die durch Flutreibung erzeugten Säcularstörungen der Bahnelemente. Darnach ist in sinngemäßer Anwendung auf den vorliegenden Fall die Änderung der mittleren Entfernung α gegeben durch

$$\frac{d\sqrt{a}}{dt} \sim \nu \left(\frac{M}{m}\right)^2 \frac{h^9}{a^6} (\omega - n)$$

wo ν der Viskositätskoeffizient, ω die Rotationsgeschwindigkeit, n die mittlere Umlaufsgeschwindigkeit ist und h, m, M die frühere Bedeutung haben.[1]

Da hier ω das entgegengesetzte Vorzeichen von n hat, so findet eine Abnahme der mittleren Entfernung statt. Der Endzustand unter alleiniger Wirkung der Flutreibung würde entweder die Wiedervereinigung mit der Zentralmasse oder das asymptotische Erreichen einer gewissen Minimaldistanz sein, der eine stabile stationäre Bewegung entspricht. Welcher von den beiden Fällen eintreten wird, hängt von dem Verhältnis der Absolutbeträge des Rotationsmomentes $C\omega$ und des Revolutionsmomentes ma^2n ab (C das Trägheitsmoment der Masse m bezüglich der Rotationsachse). Ist

$$C\omega < m a^2 n$$

so tritt der zweite Fall ein: der Vorgang endet mit einer stabilen Bahn von m um M.[2]

Bei dem hier vorausgesetzten Abtrennungsprozeß wird nun diese Ungleichung immer erfüllt sein. Sie kann näherungsweise ersetzt werden durch die Bedingung

$$h^2 \omega < a^2 n.$$

Zwischen den Absolutbeträgen von ω und n besteht aber nach dem Früheren die approximative Beziehung

$$\omega = \frac{1}{10} \left(\frac{\varepsilon}{\eta}\right)^{2/3} n$$

---

[1] Siehe Darwin: »On the analytical expressions wich give the history of a fluid planet of small viscosity, attented by a single satellite.« Proc. of the Royal Soc. vol. XXX. Vgl. auch das Referat von Darwin's einschlägigen Arbeiten in Poincaré: »Hypothèses cosmogéniques«.

[2] Siehe Darwin l. c. und auch Darwin: The determination of the secular effects of tidal friction by a graphical method. Proc. of the royal soc. XXIX.

daher soll

$$\frac{\varepsilon}{\eta} < \left(\frac{a}{h}\right)^3 \cdot 10^{3/2}.$$

Gemäß der Bedeutung von ε und η ist aber

$$6\,\varepsilon^2 \eta\, a^3 = h^3$$

woraus für die obige Bedingung folgt

$$\varepsilon^3 < \frac{10^{3/2}}{6} \qquad \text{oder} \qquad \varepsilon < 1\cdot 74$$

eine Ungleichung, die ja immer erfüllt sein muß. Man kann das Bestehen der obigen Ungleichung übrigens auch aus folgender Überlegung einsehen. Für eine sphärische homogene Masse m soll nach dieser

$$\frac{\omega}{n} < \frac{5}{2}\left(\frac{a}{h}\right)^2.$$

Im ursprünglichen Ring sind die linearen Geschwindigkeiten der einzelnen Teilchen geben durch

$$g = \frac{k\sqrt{M}}{\sqrt{a}}$$

das Geschwindigkeitsgefälle demnach durch

$$\frac{dg}{da} = -\frac{k\sqrt{M}}{a^{3/2}} = -\frac{1}{2}n$$

eine Größe, die zugleich ein Maß für die Rotationsgeschwindigkeit aus zwei unendlich benachbarten Teilchen ist. Durch eine vorangegangene Kontraktion $\lambda < 1$, wird dieses Gefälle und damit ω im Verhältnis $\frac{1}{\lambda}$ vergrößert, so daß also $\frac{\omega}{n} = \frac{1}{2\lambda}$ ist. Damit die obige Ungleichung nicht mehr erfüllt ist, müßte die Kontraktion zur Zeit der Vereinigung der Ringmaterie zu einer Planetenmasse bereits einen Betrag

$$\lambda < \frac{1}{5}\left(\frac{h}{a}\right)^2$$

erreicht haben, was nach den Verhältnissen beim Eintritt der Instabilität des Ringes ausgeschlossen erscheint.

Die durch die Flutreibung bedingte säkulare Änderung der mittleren Entfernung wird also jedenfalls in einer bei stetiger Verkleinerung stattfindenden asymptotischen Annäherung an einen stabilen stationären Endzustand bestehen. Es handelt sich nun darum, aus der kombinierten Wirkung der Flutreibung und der allmählichen Kontraktion auf die Rotation der Planetenmasse die Bedingung zu finden, unter welcher der Einfluß der letzteren überwiegt, so daß der Entwicklungsprozeß dieses Sekundärsystems unter wesentlich gleichen Verhältnissen stattfindet, wie der des ursprünglichen Sonnennebels.

Zum Zwecke des quantitativen Vergleiches sollen hier in Kürze die Ergebnisse der Darwin'schen Untersuchungen über den Einfluß der Flutreibung angeführt werden mit dem für den vorliegenden Fall nötigen Abänderungen, beziehungsweise erlaubten Vereinfachungen: der Fluterreger ist hier die Zentralmasse, die Rotationsebene der Begleitmasse fällt mit der Bahnebene zusammen und die Bahn selbst ist eine Kreisbahn. Die undeformierte Planetenmasse wird als kugelförmig angenommen.

Unter diesen Voraussetzungen ist die Deformationsgröße ζ gegeben durch

$$\frac{\zeta}{h} = \frac{M}{m}\left(\frac{h}{a}\right)^3 P^{(2)}(\cos\sigma)$$

wo σ die Zenitdistanz der störenden Masse M und $P^{(2)}$ die Kugelfunktion zweiter Ordnung ist.

Ist ϑ das Komplement der Breite, λ die Länge des Oberflächenelementes, gezählt von irgend einem Nullmeridian, s die Sternzeit in letzterem und l die Rektaszension der störenden Masse, so ist

$$\cos\sigma = \sin\vartheta \cos(s+\lambda-l).$$

Versteht man unter $P_{n,m}$ die Neumann'schen zugeordneten Kugelfunktionen, so ist

$$\frac{\zeta}{h} = \frac{M}{m}\left(\frac{h}{a}\right)^3 \left[-P_{2,0}(\cos\vartheta) + \frac{1}{4}P_{2,2}(\cos\vartheta)\cos 2\lambda\cos 2(s-l) - \frac{1}{4}P_{2,2}(\cos\vartheta)\sin 2\lambda \sin 2(s-l)\right]$$

wo also $\dfrac{ds}{dt} = \omega \quad \dfrac{dl}{dt} = n$ ist.

Infolge der inneren Reibung findet für die einzelnen periodischen Glieder in ζ sowohl eine Verkleinerung der Amplitude als auch eine Phasenverzögerung statt, und zwar in folgender Weise: ein Glied in ζ, das ursprünglich die Form

$$h^p\, Y^{(p)}(\vartheta,\lambda)\cos\theta$$

hatte, wo $Y^{(p)}$ eine Kugelflächenfunktion p Ordnung, θ eine Funktion der Zeit ist, nimmt vermöge der inneren Reibung die Form an

$$h^p\, Y^{(p)}(\vartheta,\lambda)\cos\eta\cos(\theta-\eta)$$

wo

$$\eta = \nu\frac{(2p+3)(p-1)}{p}\cdot\frac{h}{k^2 m q}\cdot\frac{d\theta}{dt},$$

ν der Viskositätskoeffizient, q die Dichte an der Oberfläche und k die Gravitationskonstante ist.[1]

Im vorliegenden Falle ist

$$\eta = 7\frac{\nu h}{k^2 m q}(\omega - n)$$

und die Gezeitendeformation gegeben durch

$$\frac{\zeta}{h} = \frac{M}{m}\left(\frac{h}{a}\right)^3\cos\eta\left[-P_{2,0}(\cos\vartheta) + \frac{1}{4}P_{2,2}(\cos\vartheta)\left(\cos 2\lambda\cos(2s-2l-\eta) - \sin 2\lambda\sin(2s-2l-\eta)\right)\right]$$

Die durch die Attraktion von M auf diese Gezeitenprotuberanz bedingte Störungsfunktion ist

$$W = k^2\frac{M}{m}\int_s \frac{q\,\zeta\, d\sigma}{\Delta}$$

wo Δ die Distanz des Oberflächenelements $d\sigma$ von M ist und das Integral sich auf die Kugeloberfläche bezieht.

Nach der Entwicklung von $\dfrac{1}{\Delta}$ nach Kugelfunktionen ergibt die Integration vermöge der Orthogonalitätseigenschaften dieser Funktionen

$$W = \frac{2\pi}{5}k^2\left(\frac{M}{m}\right)^2 q\,\frac{h^8}{a^6}\cos\eta\left[1+\frac{3}{2}\cos(2\bar{l}-2l-\eta)\right]$$

wo $\bar{l}$ dieselbe Koordinate des störenden Körpers wie l bedeutet, insofern sie durch die Entwicklung der reziproken Distanz in die Formel eintritt. (Nur auf diese Größen beziehen sich die partiellen Ableitungen in den Störungsgleichungen.)

---

[1] Siehe Darwin: On the bodily tides of viscous and semi-elastic spheroids and on the occantides upon a yielding nucleus. Phil. Trans. P. I. vol. 170. 1879.

Die Störungsgleichung für die mittlere Entfernung ist

$$\frac{da}{dt} = \frac{2}{an} \cdot \frac{\delta W}{\delta M_0}$$

oder

$$k\sqrt{M+m}\,\frac{d\sqrt{a}}{dt} = \frac{\delta W}{\delta M_0}$$

wo unter M_0 die in $\bar{l}$ eintretende Anfangskonstante zu verstehen ist.

Setzt man nach der Differentiation $\bar{l} = l$, so wird, wegen der Kleinheit von η

$$\frac{\delta W}{\delta M_0} = \frac{6\pi}{5} k^2 \frac{M^2}{m^3} q \frac{h^8}{a^6} \eta$$

und mit Rücksicht auf den obigen Ausdruck für η

$$k\sqrt{M+m}\,\frac{d\sqrt{a}}{dt} = \frac{42}{5} \nu \pi \frac{M^2}{m^3} \cdot \frac{h^9}{a^6} (\omega - n)$$

$$\left(\text{zugleich auch der Ausdruck für} \quad k^{4/3}(M+m)^{2/3} \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{\sqrt[3]{n}}\right)\right).$$

Die Änderung der Rotationsgeschwindigkeit ω folgt nun aus dem Flächensatz. Das Flächenmoment der translatorischen Bewegung in Bezug auf den gemeinsamen Schwerpunkt ist

$$\frac{Mm}{M+m} a^2 n = \frac{Mm}{M+m} k\sqrt{M+m}\,\sqrt{a}.$$

Ist C das Trägheitsmoment der Masse m bezüglich der Rotationsachse, so lautet der Flächensatz

$$C\omega + \frac{Mm}{M+m} k\sqrt{M+m}\,\sqrt{a} = \text{Konst.}$$

daher ist nach der Störungsgleichung in a

$$\frac{d(C\omega)}{dt} = -\frac{42}{5} \pi \nu \frac{M^3}{(M+m)\,m^2} \cdot \frac{h^9}{a^6} (\omega - n).$$

(Die hier wesentlich vereinfachten Einzelresultate sind in ganz allgemeiner und weit ausführlicherer Darstellung gegeben in Darwin's »On the precession of a viscous spheroid, and on the remote history of the Earth«. Phil. Trans. P. II. vol. 170, und in »Problems connected with the tides of a viscous spheroid« ibid.)

Würde man C als konstant annehmen, so würden die obigen Relationen unmittelbar die durch die Gezeitenwirkung allein bedingte Säkularstörung der Relation ergeben. Da hier die Kontraktionswirkung mit dieser verglichen werden soll, so hat man vorauszusetzen, daß das Trägheitsmoment einer säkularen Änderung unterliegt. Setzt man mit der bisherigen Annäherung

$$C = \frac{2}{5} m h^2$$

so ist h mit der Zeit veränderlich, und zwar soll diese Abhängigkeit in der Form

$$\frac{1}{h}\frac{dh}{dt} = -\frac{\sigma}{2}$$

vorausgesetzt werden, wo σ eine wesentlich positive Größe ist, die im übrigen noch von h abhängig sein kann.

Aus der Gleichung

$$\frac{d}{dt}(h^2\omega) = -\frac{21\pi\nu}{M+m}\cdot\left(\frac{M}{m}\right)^3\frac{h^9}{a^6}(\omega - n)$$

folgt dann

$$\frac{d\omega}{dt} = \sigma\omega - B\frac{h^7}{a^6}(\omega - n)$$

wenn die konstante Größe

$$\frac{21\pi\nu}{M+m}\left(\frac{M}{m}\right)^3 = B$$

gesetzt wird.

Am Beginn der Planetenbildung ist die Rotation retrograd. Ist der Absolutbetrag der Rotationsgeschwindigkeit $|\omega|$, also $\omega = -|\omega|$, so ist die Änderung desselben

$$\frac{d|\omega|}{dt} = \sigma|\omega| - B\frac{h^7}{a^6}(|\omega| + n).$$

Die Rotation in diesem Sinn wird also erhalten bleiben, beziehungsweise vergrößert werden, wenn

$$\sigma \gtreqless B\frac{h^7}{a^6}\left(1 + \frac{n}{|\omega|}\right).$$

Wie immer auch die physikalischen Verhältnisse beschaffen sein mögen, für genügend große Distanzen a kann diese Bedingung erfüllt sein und es ist zu bemerken, daß diese Ungleichung dann auch erhalten bleibt. Es ist nämlich die Ableitung des veränderlichen Teiles nach der Zeit

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{h^7}{a^6}\left(1 + \frac{n}{|\omega|}\right)\right] = \left(1 + \frac{n}{|\omega|}\right)\left(7a\frac{dh}{dt} - 6h\frac{da}{dt}\right)\frac{h^6}{a^7} + \frac{1}{|\omega|^2}\left(|\omega|\frac{dn}{dt} - n\frac{d|\omega|}{dt}\right)\frac{h^7}{a^6}$$

nach der gemachten Voraussetzung eine negative Größe. Da

$$\frac{da}{dt} = -\frac{4}{5}\frac{h^9}{na^7}B(|\omega| + n) \quad \text{und} \quad \frac{dh}{dt} = -h\frac{\sigma}{2}$$

so wird die erste Klammergröße

$$-\frac{7}{2}ah\sigma + \frac{24}{5}\frac{h^{10}}{na^7}B(|\omega| + n)$$

jedenfalls negativ, weil wegen der obigen Ungleichung sicher

$$\sigma > \frac{48}{35}\frac{|\omega|}{n}\cdot\left(\frac{h}{a}\right)^2\cdot B\frac{h^1}{a^6}\left(1 + \frac{n}{|\omega|}\right)$$

ist.

Das Gleiche gilt für den zweiten Teil. Berücksichtigt man den obigen Wert für $\frac{d|\omega|}{dt}$ und den Wert für

$$\frac{dn}{dt} = \frac{6}{5}\frac{h^9}{a^8}B(|\omega| + n)$$

so wird die zweite Klammergröße

$$-n|\omega|\sigma + \frac{h^7}{a^6}\left(n + \frac{6}{5}|\omega|\frac{h^2}{a^2}\right)B(|\omega| + n)$$

ebenfalls negativ, da die dafür notwendige Bedingung

$$\sigma > B\frac{h^7}{a^6}\left(1 + \frac{n}{|\omega|}\right)\left[1 + \frac{6}{5}\frac{|\omega|}{n}\cdot\left(\frac{h}{a}\right)^2\right]$$

sich nur um eine Größe zweiter Ordnung von der vorausgesetzten Ungleichung unterscheidet. (Es überwiegt übrigens ohnehin das erste negative Glied.)

Es nimmt daher die rechte Seite der verlangten Ungleichung beständig ab. Nun kann allerdings σ selbst noch einer Potenz von h protortional sein, also h kleiner werden, sicher aber — der physikalischen Bedeutung nach — einer niedrigeren als der siebenten, so daß die Ungleichung erhalten bleibt.

Die Bedingung

$$\sigma > B\frac{h^7}{a^6}\left(1+\frac{n}{|\omega|}\right)$$

ist demnach hinreichend für das beständige Überwiegen der Kontraktionswirkung über den Einfluß der Flutreibung; ist diese für ein Anfangsstadium erfüllt, so sind die Voraussetzungen für die Entwicklung eines Sekundärsystems mit retrograder Umlaufsbewegung gegeben.

7. Planetenbildung bei überwiegender Gezeitenwirkung.

In diesem Falle ist also

$$\sigma > B\frac{h^7}{a^6}\left(1+\frac{n}{|\omega|}\right)$$

der Absolutbetrag $|\omega|$ der retrograden Winkelgeschwindigkeit ω nimmt ab. Die Änderung der Größen a, n und $|\omega|$ findet daher in einem solchen Sinn statt, daß diese Ungleichung verstärkt wird. Dem steht die Abnahme von h gegenüber, die aber durch eine in σ möglicherweise enthaltene h-Potenz teilweise kompensiert sein kann. Da überdies bei dem Durchgang von ω durch Null die obige Bedingung jedenfalls erfüllt ist, so kann bei der relativen Kleinheit des ursprünglichen Wertes von $|\omega|$ angenommen werden, daß die Ungleichung bis zur Umkehrung der Rotationsrichtung erhalten bleibt.

Übrigens läßt sich aus der oben gegebenen Ableitung der veränderlichen Größe

$$\frac{h^7}{a^6}\left(1+\frac{n}{|\omega|}\right)$$

leicht die Bedingung erkennen, unter welcher diese beständig zunimmt. Man erhält nach Einführung der Differentialquotienten von a, h, n und $|\omega|$

$$\frac{7}{2}\sigma\left(1+\frac{9}{7}\frac{n}{|\omega|}\right) < B\frac{h^7}{a^6}\left(1+\frac{n}{|\omega|}\right)\left[\frac{n}{|\omega|}+\left(\frac{h}{a}\right)^2\cdot\frac{6}{5}\left(5+4\frac{|\omega|}{n}\right)\right]$$

oder, nach Unterdrückung des belanglosen Gliedes mit $\left(\frac{h}{a}\right)^2$:

$$\sigma < B\frac{h^7}{a^6}\left(1+\frac{n}{|\omega|}\right)\frac{2}{q+7\frac{|\omega|}{n}}\,.$$

Da der zweite Faktor beständig zunimmt, für den ersten allein aber anfänglich die Ungleichung erfüllt war, so ist damit das ständige Abnehmen der retrograden Rotation gesichert.

Für den Durchgang durch Null ist

$$\frac{d\omega}{dt} = B\frac{h^7}{a^6}n$$

es findet also ein Anwachsen im positiven Sinn unabhängig von der Kontraktionswirkung statt.

Der weitere Verlauf der nun rechtläufig gewordenen Rotationsbewegung ist gegeben durch

$$\frac{d\omega}{dt} = \sigma\omega + B\frac{h^7}{a^6}(n - \omega).$$

Da zunächst $n > \omega$ ist, so nimmt die Rotationsgeschwindigkeit weiter zu. Nun ist

$$\frac{dn}{dt} = \frac{6}{5}\left(\frac{h}{a}\right)^2 B\frac{h^7}{a^6}(n - \omega),$$

die Änderung von n demnach im Verhältnis $\left(\frac{h}{a}\right)^2$ höherer Ordnung; ω wird also einmal den Betrag n erreichen, das heißt es wird jedenfalls ein Zustand gleicher Rotations- und Revolutionsgeschwindigkeit eintreten. In diesem Moment ist n stationär, ω nimmt aber, gemäß

$$\frac{d\omega}{dt} = \sigma\omega$$

weiter zu, so daß von da ab $\omega > n$ ist, wodurch die Zunahme von ω verringert und n selbst wieder kleiner wird.

Nun kann man schon aus dem unmittelbaren Anblick der beiden Gleichungen erkennen, daß der weitere Verlauf zwei ganz verschiedenen Endzuständen zustreben wird, je nach dem Verhältnis der noch bestehenden Gezeitenwirkung zum Kontraktionseffekt.

Die Gleichungen in ω und n haben die Form

$$\frac{d\omega}{dt} = \sigma\omega - \Gamma(\omega - n)$$

$$\frac{dn}{dt} = -\Gamma_1(\omega - n)$$

wo Γ_1 höherer Ordnung als Γ ist: bis auf einen numerischen Faktor ist $\Gamma_1 = \left(\frac{h}{a}\right)^2 \Gamma$.

Von dem Moment an, wo $\omega = n$ ist, nimmt ω zu, demnach n wieder ab, daher wird $\frac{d\omega}{dt} < \sigma\omega$.

Überwiegt nun die Gezeitenwirkung beträchtlich, ist also um vieles $\Gamma > \sigma$, so kann im weiteren Verlauf $\frac{d\omega}{dt}$ wieder negativ werden, und zwar in dem Moment, wo

$$\omega = \frac{\Gamma}{\Gamma - \sigma} n$$

es kann darauf $\frac{dn}{dt} > 0$ werden, so daß schließlich $\frac{d\omega}{dt}$ wieder positiv wird und sich der Vorgang im wesentlichen wiederholt, so daß also ω in irgend einen um n liegenden Bereich varriieren wird.

Ist aber σ beträchtlich größer als Γ, so kann $\frac{d\omega}{dt}$ beständig positiv bleiben, ω also so lange zunehmen, als überhaupt eine merkliche Kontraktionswirkung noch vorhanden ist.

Die Diskussion der obigen Gleichungen bestätigt diese Überlegung in präziserer Weise. Man erhält durch Subtraktion

$$\frac{d(\omega - n)}{dt} = \sigma\omega - (\Gamma - \Gamma_1)(\omega - n).$$

Setzt man die Differenz $\omega - n = \zeta$, so erhält man das Gleichungssystem

$$\frac{d\zeta}{dt} = (\sigma - \Gamma + \Gamma_1)\,\zeta + \sigma n$$

$$\frac{dn}{dt} = -\Gamma_1\,\zeta.$$

Setzt man zunächst σ, Γ und Γ_1 als konstant voraus, eine Annahme, die für eine längere Zeitdauer wenigstens annähernd realisiert sein und ein im wesentlichen richtiges Bild von der Wirkungsweise der beiden Einflüsse geben kann, so folgt für ζ die folgende Differentialgleichung

$$\frac{d^2\zeta}{dt^2} + (\Gamma - \Gamma_1 - \sigma)\frac{d\zeta}{dt} + \sigma\Gamma_1\,\zeta = 0.$$

Das partikuläre Integral $\zeta = e^{\lambda t}$ ergibt für λ die Werte

$$\lambda = -\frac{1}{2}(\Gamma - \Gamma_1 - \sigma) \pm \sqrt{\frac{1}{4}(\Gamma - \Gamma_1 - \sigma)^2 - \sigma\Gamma_1}.$$

Der Radikand hat die zwei positiven Wurzeln

$$\sigma = \Gamma + \Gamma_1 \pm 2\sqrt{\Gamma\Gamma_1}$$

und wird für die dazwischen liegenden Werte σ negativ. λ hat also entweder reelle Werte von der Form $-\alpha \pm \beta$, wo $|\beta| < |\alpha|$, oder komplexe Werte $-\alpha \pm i\beta$.

Das allgemeine Integral

$$\zeta = a e^{\lambda_1 t} + b e^{\lambda_2 t}$$

wird, wenn t von dem Moment, wo $\omega = n$ war, gezählt wird:

$$\zeta = a(e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}).$$

Je nach dem Größenverhältnis von σ zu Γ ergeben sich für ζ Funktionen, die ganz verschiedenen Endzuständen entsprechen.

Bedenkt man, daß

$$\Gamma + \Gamma_1 - 2\sqrt{\Gamma\Gamma_1} < \Gamma - \Gamma_1,$$

so grenzen die aufeinanderfolgenden Größen

$$\Gamma + \Gamma_1 - 2\sqrt{\Gamma\Gamma_1}, \quad \Gamma - \Gamma_1 \quad \text{und} \quad \Gamma + \Gamma_1 + 2\sqrt{\Gamma\Gamma_1}$$

vier Bereiche für σ ab, denen ebensoviele Funktionsarten für ζ entsprechen.

Es ist für

$\sigma < \Gamma + \Gamma_1 - 2\sqrt{\Gamma\Gamma_1}$	$\zeta = a^{-(\alpha-\beta)t}(1 - e^{-2\beta t})$
$\Gamma + \Gamma_1 - 2\sqrt{\Gamma\Gamma_1} < \sigma < \Gamma - \Gamma_1$	$\zeta = a e^{-\alpha t}\sin\beta t$
$\Gamma - \Gamma_1 = \sigma$	$\zeta = a\sin\beta t$
$\Gamma - \Gamma_1 < \sigma < \Gamma + \Gamma_2 + 2\sqrt{\Gamma\Gamma_1}$	$\zeta = a e^{+\alpha t}\sin\beta t$
$\Gamma + \Gamma_1 + 2\sqrt{\Gamma\Gamma_1} < \sigma$	$\zeta = a e^{\alpha t}(e^{+\beta t} - e^{-\beta t})$.

Dabei ist zu bemerken, daß $\alpha - \beta$ von der Größenordnung Γ_1, also höherer Ordnung als α und β ist, daß ferner α eine wesentlich positive Größe ist, wie aus dem Sinne der Änderung von $\omega - n$ für $t = 0$ hervorgeht.

Im ersten Fall wird zunächst ω größer als n, um sich nach einem gewissen Maximalbetrag der Distanz $\omega - n$ asymptotisch der Revolutionsgeschwindigkeit n zu nähern; im zweiten schwankt ω um

den Wert n mit immer kleiner werdender Amplitude, um für den Grenzfall $\sigma = \Gamma - \Gamma_1$, in eine konstant bleibende Libration überzugehen. Im vierten Fall findet ein Schwanken von ω um einen mittleren Wert n mit immer größer werdender Amplitude und im fünften endlich ein Anwachsen der Rotationsgeschwindigkeit gegen n statt. Der Bereich einer auftretenden Periodizität ist übrigens ein sehr enger, da ja σ dafür innerhalb Grenzen liegen muß, die näherungsweise durch

$$\Gamma\left(1 \pm 2\,\frac{h}{a}\right)$$

gegeben sind.

Wie schon früher geschlossen wurde, sind es also zwei wesentlich verschiedene Endzustände, denen der ganze Verlauf je nach dem Größenverhältnis von σ und Γ zustreben kann: entweder bleibt ω in einer gewissen, immer kleiner werdenden Umgebung von n, oder wächst um beliebige Beträge über diese Winkelgeschwindigkeit.

Die obigen Lösungsformen sollen natürlich nur das wesentliche dieser beiden Möglichkeiten charakterisieren, ohne eine vollkommene richtige analytische Darstellung des Prozesses geben zu können: ist Γ schon wegen a und h selbst eine veränderliche Größe, so werden sich ja auch die physikalischen Größen σ und ν, sowie die Deformabilität stetig ändern, so daß insbesonders der Fall der ständigen Zunahme von ζ nichts anderes als die asymptotische Annäherung von ω an einen gewissen Maximalbetrag bedeuten kann.

Offenbar kann es nur in der zweiten Gruppe der obigen Fälle, bei beständig zunehmender Rotationsgeschwindigkeit, zu Satellitenbildungen kommen, die also zu einem Sekundärsystem mit direkten Umlaufsbewegungen führen werden.

Man muß übrigens auch hier zunächst die Frage aufwerfen, unter welchen Umständen denn überhaupt die Formation einer zusammenhängenden Masse aus dem Nebelring möglich ist. Hier handelt es sich aber um Gleichgewichtsfiguren bei Anwesenheit einer entfernten attrahierenden Masse M.

Da im vorliegenden Fall als Abschluß des ersten Entwicklungsstadiums die Gleichheit von Rotation und Umlaufsbewegung eintreten muß, so kann man diesen besonderen Zustand der Betrachtung der Möglichkeit einer Gleichgewichtsfigur zugrunde legen. Man wird auch hier wieder die zwei extremen Fälle zu unterscheiden haben: die Nebelmasse sammelt sich um einen stark kondensierten Kern von kleinen Dimensionen aber überwiegender Masse an oder aber: die ganze den Planeten bildende Masse ist merklich homogen. Ist die Konstitution der Planetenmaterie der ersten Art, also von derselben extremen Massenverteilung wie die des primären Sonnennebels, so ergeben sich natürlich keinerlei Beschränkungen für das Bestehen einer Gleichgewichtsfigur überhaupt, sondern lediglich gewisse Grenzen für die Dimensionen dieses planetarischen Nebels, bedingt durch die theoretische Atmosphärengrenze, die aber nun wegen der Wirkung der außerhalb liegenden Masse M von wesentlich anderer Gestalt ist, als bei dem Sonnennebel.

Der andere, a priori viel wahrscheinlichere Fall einer — wenigstens zu Beginn der Entwicklung — nahezu homogenen Planetenmasse führt aber zu einer ganz bestimmten Grenzbedingung zwischen der Dichte und der mit der Umlaufsgeschwindigkeit gleichen Rotationsgeschwindigkeit.

Roche hat in seiner Abhandlung: »Figure d'une masse fluide, soumise à l'attraction d'un point éloigné« I. partie, Mémoires de la section des sciences de l'Académie de Montpellier 1849, gezeigt, daß in diesem Fall, das heißt bei rotierenden homogenen Flüssigkeitsmassen, die unter dem Einfluß einer störenden Masse von derselben Umlaufszeit stehen, dreiachsige ellipsoide Gleichgewichtsfiguren sein können.[1] Das Ergebnis ist folgendes:

Von den drei Achsen $a > b > c$

liegt c in der Rotationsachse und a ist, bei den stabilen Lagen, gegen die störende Masse gerichtet.

---

[1] Siehe auch Tisserand: Traité de mécanique céleste, t. II. c. VIII.

Setzt man $\frac{c^2}{a^2} = s$ $\frac{c^2}{b^2} = t$ ferner das Verhältnis der Flüssigkeitsmasse zur störenden Masse $\frac{m}{M} = \mu$ und

$$\lambda = \frac{\omega^2}{2\pi k^2 q}$$

so bestehen für das Gleichgewicht die Bedingungsgleichungen

$$\frac{\lambda}{1+\mu} = \frac{(1-s)s}{3\mu+s} \int_0^\infty \frac{u\,du}{(1+u)(1+su)D}$$

$$= \frac{(1-t)t}{\mu+t} \int_0^\infty \frac{u\,du}{(1+u)(1+tu)D}$$

$$= \frac{st(t-s)}{(3+\mu)t-\mu s} \int_0^\infty \frac{u\,du}{(1+su)(1+tu)D}$$

wo $D^2 = (1+su)(1+tu)(1+u)$.

Die Gleichungen stellen nur zwei unabhängige Relationen vor: eine transzendente Gleichung zwischen den Größen s und t, und eine Relation die die Beziehung zwischen einem der Wertepaare s und t einerseits und der physikalischen Größe λ andrerseits herstellt. Nun zeigt die Diskussion dieser Gleichungen, daß auf dem in Frage kommenden Teil der st-Kurve (s von 0 bis 1) die Größe λ vom Wert Null bis zu einem vom Massenverhältnis μ abhängigen Maximalbetrag ansteigt, um für den Endpunkt wieder auf Null zu sinken, so daß bei gegebenem Massenverhältnis über einem gewissen Wert für λ keine ellipsoidischen Gleichgewichtsfiguren existieren.

Da im vorliegenden Fall m als sehr klein gegen M angenommen werden muß, für $\mu = 0$ aber als dieser Maximalbetrag von $\lambda : 0\cdot046$ gefunden wird,[1] so erhält man als Bedingung für die Dichte q und die Rotationsgeschwindigkeit $\omega = n$

$$\frac{\omega^2}{2\pi k^2 q} > 0\cdot046.$$

Da $\omega^2 = \frac{k^2 M}{a^3}$ und $a^3 q$ bei Homogenität der Nebelhülle im Verlauf der Kontraktion derselben nahezu konstant bleibt, so wird diese Bedingung, wenn sie einmal erfüllt war, auch bei den folgenden Ringbildungen erhalten bleiben, oder bei gegen das Innere zunehmender Dichte umso mehr erfüllt sein.

Auch hier wird die früher genannte Bemerkung Platz finden können, daß die Bedingung zwar nur für ellipoidische Gleichgewichtsfigurren gilt, aber immerhin einen Anhaltspunkt für die Größenordnung der oberen Grenze der charakteristischen Größe

$$\frac{\omega^2}{2\pi k^2 q}$$

geben kann.

Stellt man übrigens diese Bedingung dem Maxwell'schen Stabilitätskriterium gegenüber, so erhält man eine Vorstellung von dem Grade der Kontraktion, die zur Bildung homogener planetarischer Massen notwendig ist. Nach dem letzteren wird der Ring sicher zu bestehen aufhören, wenn

---

[1] Siehe Roche l. c.

$4\pi k^2 q = \frac{1}{14}\omega^2$ ist, wo ω näherungsweise der mittleren Winkelbewegung n des Planeten und diese wieder gleich der Rotationsgeschwindigkeit des letzteren im betrachteten Stadium gleich gesetzt werden kann. In diesem muß die Größe $4\pi k^2 q$ über dem Betrag $\frac{\omega^2}{0\cdot046}$ liegen, die Dichte also etwa dreihundertmal größer sein, was einer Kontraktion auf ein Siebentel des ursprünglichen Volumens entspricht. Eine derartige Kondensation muß also stattgefunden haben von dem Moment des Zerfalles des Ringes bis zu dem Stadium der Gleichheit von Rotation und Revolution.

Die Möglichkeit des Verhältnisses der dazu nötigen Zeiträume entzieht sich natürlich schon wegen der Verlagerung der Ringmaterie jeder Beurteilung. Für unser Sonnensystem ist übrigens diese Frage — mit einer einzigen Ausnahme — von keiner aktuellen Bedeutung, da die Massenverhältnisse der Satelliten die Entstehung der Sekundärsysteme aus homogenen planetarischen Massen ausschließen, vielmehr auf ähnliche Massenverteilungen, wie beim ursprünglichen Sonnennebel hinweisen.

8. Bildung von Sekundärsystemen.

Was die Bildung von Satelliten anbelangt, so erledigen sich zwei extreme Fälle unmittelbar. Ist die Gezeitenwirkung so groß, daß dauernd im Mittel $\omega = n$ erhalten bleibt, so ist eine solche von vornherein ausgeschlossen. Das wird bei den den Zentralkörper zunächst umkreisenden Planetenmassen der Fall sein. Ist die Gezeitenwirkung unmerklich, so können sich auch hier die ungestörten Abtrennungsvorgänge vollziehen: bei Homogenität der Poincaré-Darwin'sche, bei überwiegender zentraler Verdichtung die Laplace'sche Ringbildung, und so die Ursache von Sekundärsystemen mit rückläufiger Umlaufsbewegung werden. Das entspricht den Verhältnissen der entferntesten Planetenmassen. Zwischen diesen extremen Fällen liegen nun jene mittleren Verhältnisse, bei welchem wohl die Gezeitenwirkung die Umwandlung der ursprünglich retrograden Rotation in die direkte $\omega = n$ vollziehen kann, aber nicht mehr im stande ist, die beschleunigende Kontraktionswirkung aufzuheben, so daß ω auch von diesem Stadium an noch weiter zunimmt. Im Falle der Homogenität der Planetenmaterie kann sich, wie oben gezeigt wurde, der Beginn der rechtläufigen Rotation erst in einem weit vorgeschrittenen Zustand der Kondensation einstellen; es ist deshalb anzunehmen, daß bei fortwährend verringertem Gezeiteneinfluß und vergrößerter Rotationsgeschwindigkeit jene Gleichgewichtsfiguren angenommen werden, die bei Abwesenheit äußerer Kräfte auftreten, so daß auch hier eine Satellitenbildung auf dem Wege des Poincaré-Darwin'schen Prozesses möglich ist. Allerdings besitzt dieser Vorgang aus den angeführten Gründen eine geringere Wahrscheinlichkeit.

Handelt es sich aber um das andere Extrem der Massenverteilung, eine solche mit überwiegender zentraler Verdichtung, so kann bei genügender Verkleinerung der Dimensionen und Unmerklichwerden der deformierenden Wirkung des Zentralkörpers sich auch hier der Laplace'sche Prozeß wiederholen und so wie im Falle der Homogenität die Bildung rechtläufiger Sekundärsysteme veranlassen. In diesem zweiten Fall kann sich aber schon vor dem Eintreten der Bedingungen für den Laplace'schen Vorgang, also noch bei merklicher Deformationswirkung ein Abströmungsprozeß anderer Natur einstellen, der begründet ist durch die Form der Gashüllen unter der Wirkung einer äußeren störenden Masse. Ausführliche Untersuchungen darüber sind von E. Roche in der eingangs zitierten Arbeit angestellt worden: »Mémoire sur la figure des atmosphères des corps célestes«. Acad. d. sciences de Montpellier 1854. Für den vorliegenden Fall ist die folgende Betrachtung ausreichend.

Es seien unter Beibehaltung der früheren Bezeichnungen die Masse der zentralen Verdichtung des Planeten gleich m, und die Koordinaten eines Punktes der Oberfläche der Atmosphäre

$$x = r\sin\vartheta\cos\varphi \qquad y = r\sin\vartheta\sin\varphi \qquad z = r\cos\vartheta$$

bezogen auf die gemeinsame Rotations- und Bahnebene und einer nach dem Zentralkörper M gerichteten X-Achse.

Ist a der Radius der Kreisbahn, so ist das Potential der durch M bewirkten deformierenden Kraft mit genügender Annäherung gleich

$$\frac{1}{2} k^2 M \frac{r^2}{a^3} (3 \cos^2 \varphi \sin^2 \vartheta - 1).$$

Das Gesamtpotential ist demnach

$$\frac{k^2 m}{r} + \frac{1}{2} k^2 M \frac{r^2}{a^3} (3 \cos^2 \varphi \sin^2 \vartheta - 1) + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \sin^2 \vartheta = U.$$

Setzt man $\frac{m}{M} = \mu$ und $\frac{\omega^2}{n^2} = \gamma$, wo n die Umlaufswinkelgeschwindigkeit, also $n^2 a^3 = k^2 (M + m)$ ist, so wird die Gleichung der Oberfläche

$$\frac{2\mu}{r} + \frac{r^2}{a^3} (3 \cos^2 \varphi \sin^2 \vartheta - 1) + \frac{r^2}{a^3} \gamma (1 + \mu) \sin^2 \vartheta = C$$

oder

$$\frac{2\mu}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} + \frac{1}{a^3} (2 x^2 - y^2 - z^2) + \frac{1}{a^3} \gamma (1 + \mu) (x^2 + y^2) = C$$

eine Fläche, die also symmetrisch zu den gewählten Koordinatenachsen verläuft. Die Diskussion derselben führt zu ganz ähnlichen Resultaten, wie in dem einfacheren Fall des primären Sonnennebels. Es existieren insbesonders auch hier für einen bestimmten Wert der Konstanten C singuläre Stellen, die aber hier nicht ein Kontinuum in der Äquatorebene bilden, sondern sich auf zwei entgegengesetzte Punkte in dieser beschränken (wenigstens bei der angenommenen Näherung). Die Bedingung für diese sind

$$\frac{\delta U}{\delta x} = 0 \qquad \frac{\delta U}{\delta y} = 0 \qquad \frac{\delta U}{\delta z} = 0.$$

Der symmetrischen Verhältnisse wegen lassen die beiden letzteren erkennen, daß die betreffenden Stellen in der X-Achse liegen müssen, während die erste besagt, daß sich dort Zentrifugalkraft und deformierende Kraft mit der Attraktion des Kondensationszentrums das Gleichgewicht halten, so daß mit dem dadurch bestimmten Wert der Konstanten C die Atmosphärengrenze definiert ist.

Aus den Bedingungsgleichungen ergibt sich für diesen besonderen Wert der Konstanten

$$C_0 = \frac{3 \mu^{\frac{2}{3}}}{a} \sqrt[3]{2 + (1 + \mu) \gamma}$$

und für die Distanz r_0 — der halben großen Achse dieser Grenzfläche der Betrag

$$r_0 = a \sqrt[3]{\frac{\mu}{2 + (1 + \mu) \gamma}}.$$

Bei dem hier vorliegenden Entwicklungsstadium nimmt ω beständig zu, n ab, daher wächst γ beständig und die Grenzdistanz r_0 wird immer kleiner. Zu Abströmungen an den singulären Stellen wird es aber nur dann kommen, wenn die Abnahme der physischen Dimensionen weniger rasch vor sich geht. Das ist nun hier im Gegensatz zu der ungestörten Atmosphärengrenze nur bedingungsweise der Fall.

Setzt man μ als kleine Größe voraus, so ist

$$\frac{dr_0}{dt} = -\frac{r_0}{3}\frac{1}{2+\gamma}\frac{d\gamma}{dt} = -\frac{2r_0}{3}\frac{\gamma}{2+\gamma}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} - \frac{1}{n}\frac{dn}{dt}\right)$$

oder, da $\frac{dn}{dt}$ höherer Ordnung als $\frac{d\omega}{dt}$ ist und

$$\frac{d\omega}{dt} = \sigma\omega - \Gamma(\omega - n)$$

$$\frac{dr_0}{dt} = -\frac{2}{3}r_0\frac{\gamma}{2+\gamma}\left[\sigma - \Gamma\left(1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}\right)\right].$$

Dabei war die Verringerung der physischen Dimensionen nach der Relation

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{1}{2}h\sigma$$

vorausgesetzt. Eine Abströmung wird nun dann stattfinden, wenn für $r_0 = h$ dem absoluten Betrag nach

$$\left|\frac{dr_0}{dt}\right| > \left|\frac{dn}{dt}\right|$$

was auf die Bedingung $\frac{\gamma - 6}{6(2+\gamma)}\sigma > \Gamma\left(1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma}}\right)$ führt, die im Anfangsstadium $\gamma = 1$ überhaupt nicht erfüllt sein kann und selbst für sehr große Werte von γ verlangt, daß $\Gamma < \frac{\sigma}{6}$ ist; das sind aber Verhältnisse, die sich jedenfalls schon sehr denjenigen nähern, die eine Ringabtrennung ermöglichen.

Roche glaubt übrigens, daß bei dieser Art der Abströmung die physikalischen Bedingungen für eine Satellitenbildung überhaupt nicht gegeben sind. Man sieht, daß schon das Zustandekommen einer derartig lokalisierten Abströmung, wenigstens in ausgeprägter Weise, kaum wahrscheinlich ist. Man kann wohl annehmen, daß im allgemeinen eine Satellitenbildung erst dann stattfinden wird, wenn die Kontraktion und Rotationsgeschwindigkeit so weit vorgeschritten ist, daß die Bedingungen für den ursprünglichen Laplace'schen Abtrennungsprozeß nahezu wieder hergestellt sind.

9. Die kosmogonischen Verhältnisse unseres Sonnensystems.

Die grundlegenden Daten für diese sind die beiden Konstanten eines kosmogonischen Prozesses: die Gesamtmasse des Systems und das Rotationsmoment. Unter der Voraussetzung, daß mit der Neptunsbahn tatsächlich jene Grenze erreicht ist, innerhalb der sich merkliche Massen befinden, ist die Gesamtmasse des Systems in Einheiten der Sonnenmasse

$$1 + \frac{1}{745 \cdot 9} = 1 \cdot 0013406.$$

Nimmt man weiter als Zeit- und Längeneinheit den mittleren Sonnentag und die mittlere Entfernung Erde-Sonne, so findet man für das Rotationsmoment der Sonne

$$K_{\odot} = 0 \cdot 000\ 001\ 364.$$

Das Moment aus den Revolutionen der Planeten

$$\Sigma m a^2 n = k \Sigma m \sqrt{M + m}\sqrt{a}$$

ergibt

$$K_p = 0 \cdot 000\ \ 060\ \ 866$$

also etwa den sechzigfachen Betrag.

Das Gesamtmoment, die zweite Konstante des Systems ist demnach

$$K = 0\cdot000 \quad 062 \quad 230.$$

Derselbe Betrag muß der gemeinsamen Rotationsbewegung der ganzen Masse vor Abtrennung des Neptunringes entsprochen haben. Im Moment der Abtrennung war die Gashülle begrenzt von jener linsenförmigen Fläche, die die theoretische Atmosphärengrenze bildet, mit einem Äquatorhalbmesser gleich der mittleren Entfernung Sonne-Neptun und einer Rotationsgeschwindigkeit gleich der mittleren täglichen siderischen Bewegung dieses Planeten: n.

Ist das Trägheitsmoment der zentralen Verdichtung J_0, das der Nebelhülle $J_{(m)}$, so ist demnach

$$(J_{(m)} + J_0)\, n = K.$$

Nach den in 2. gegebenen Formeln für Masse und Trägheitsmoment der homogenen atmosphärischen Gleichgewichtsfiguren findet sich für den Grenzfall ($c = 1$) des linsenförmigen Körpers

$$m = \frac{4\pi}{3} q r_0^3 \left(\frac{2}{3}\right)^3 \left(1 + \frac{8}{27} + \frac{256}{3645} + \dots\right) = \frac{4\pi}{3} q r_0^3 \left(\frac{2}{3}\right)^3 \cdot 1\cdot367$$

$$= \frac{4\pi}{3} 0\cdot405 \,.\, r_0^3 q = 1\cdot696\, r_0^3 q$$

und für das Trägheitsmoment bezüglich der Rotationsachse

$$J = \frac{4\pi}{5} q r_0^5 \left(\frac{2}{3}\right)^6 \left(1 + \frac{16}{27} + \frac{640}{1701} + \dots\right)$$

$$= \frac{4\pi}{5} q r_0^5 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^6 \cdot 1\cdot969 = 0\cdot434\, r_0^5 q,$$

so daß also sehr nahe

$$J = \frac{1}{4} m r_0^2$$

für einen derartigen Körper ist.

Für Neptun ist $n = 0\cdot000\,104\,405$, man erhält somit für $\frac{K}{n}$ oder für die Summe der Trägheitsmomente von Nebelhülle und der zentralen Verdichtung für diesen Anfangszustand

$$J_{(m)} + J_0 = 0\cdot596.$$

Nimmt man letztere als kugelförmig an, so muß für dieses primäre Stadium, wenn a die mittlere Neptundistanz ist,

$$\frac{1}{4}(m)\, a^2 + \frac{2}{5} M_0 h_0^2 = 0\cdot596$$

sein, wo M_0 und h_0 Masse und Halbmesser des zentralen Teiles und $a = 30\cdot11$ ist. Man ist nun keinesfalls berechtigt, die Masse (m) der Hülle etwa mit der Summe m der Planetenmassen und M_0 mit der Sonnenmasse zu identifizieren, weil nur ein Teil der abströmenden Schichte zur Bildung der äußeren Ringe beiträgt, der übrige aber wieder von der Nebelhülle aufgenommen wird. Es würde auch tatsächlich die Annahme $(m) = 0\cdot0013406$ und $M_0 = 1$ zu ganz unwahrscheinlichen Dimensionen der Zentralmasse führen: man würde für h_0 den Betrag von $0\cdot844$ in astronomischen Einheiten, also etwa das 230fache des gegenwärtigen Sonnenradius erhalten. Andrerseits ergibt aber die Gleichung ein h_0, das nahe gleich diesem ist, wenn man $(m) = 1\cdot96\, m$ setzt, das heißt, wenn man die Masse

der ursprünglichen Nebelhülle etwa auf das Doppelte der Gesamtmasse der Planeten veranschlagt. Man erhält dadurch Veränderungen der Dimensionen der Zentralmasse, die in völlig plausiblen Grenzen liegen. Würde man die ursprüngliche Masse (m) der Hülle noch größer annehmen, so würden sich kleinere Dimensionen für die Zentralmasse als die gegenwärtigen ergeben, was an sich keinen Widerspruch enthalten, sondern nur besagen würde, daß die Kontraktion der Zentralmasse mehr als aufgehoben wird durch Ansammlung von Materie an diesem Kern, die ja schon durch die Abströmung aus den polnahen Teilen der äußersten Schichten erfolgen muß. Jedenfalls hat die Annahme $(m) = 1 \cdot 96\, m$ und das damit verbundene merkliche Konstantbleiben der Dimensionen des Kernes die Berechtigung eines wahrscheinlichen mittleren Zustandes.

Was die ursprüngliche Dichte der Nebelhülle anbelangt, so ergibt sich diese in Einheiten der gegenwärtigen mittleren Dichte der Sonne $q_{\odot}$ aus

$$\frac{q}{q_{\odot}} = \frac{5}{2}(m)\left(\frac{h}{a}\right)^3$$

als von der Größenordnung $q = q_{\odot} \cdot 10^{-14}$.

Man kann nun daraus die ursprüngliche Dichte der einzelnen Planetenringe finden, wenn man die durch die Ringabsonderung erfolgte bekannte Massenverringerung und die den mittleren Planetendistanzen entsprechende Kontraktion der übrigbleibenden Nebelmasse in Rechnung zieht. Daraus ergibt sich aber das Volumen der Ringe und mit Rücksicht auf die bekannte Länge der Ringachse auch der Querschnitt derselben. Letzterer soll durch den Radius ρ eines gleich großen Kreises charakterisiert werden.

Man erhält, wenn man die ursprüngliche Dichte der Nebelmasse $= 1$ setzt, folgende Zahlen:

Erzeugender Ring für:	Dichte	ρ des Querschnittes in Einheiten: mittlere Entfernung Sonne—Erde	Abstand der Bahnen
Neptun	1·0	1·357	
			10·89
Uranus	3·8	0·804	
			9·66
Saturn	30	1·030	
			4·25
Jupiter	166	1·088	
			3·68
Mars	3965	0·0076	
			0·52
Erde	14020	0·0151	
			0·28
Venus	36120	0·0100	
			0·34
Merkur	235250	0·0014	

Die ursprüngliche Dichte des Merkurringes war demnach

$$q = 3 . 10^{-9} q_{\odot}.$$

Das Bestehen der planetarischen Ringe ist an gewisse Grenzen gebunden, innerhalb deren die Dichte liegen muß, wie in 5. gezeigt wurde. Die Bedingung für die untere Grenze ist nun bei der

anfänglichen Geschwindigkeitsverteilung jedenfalls erfüllt, als notwendige Bedingung für die Möglichkeit einer Ringbildung bleibt also nur die Maxwell'sche Stabilitätsbedingung

$$4\pi k^2 q < \frac{\omega^2}{14}$$

oder wegen der Eigenschaft der Kreisbahn

$$4\pi q a^3 < \frac{1}{14} M.$$

Da die Masse einer homogenen Nebelhülle vom Äquatorhalbmesser a gleich $4\pi . 0\cdot 135\, a^3 q = m$ ist, so muß

$$m < \frac{1}{100} M,$$

das heißt, die Ringdichte muß so klein sein, daß eine ihr entsprechende homogene Hülle eine Masse kleiner als ein Hundertel der Zentralmasse haben müßte. Da der wahrscheinliche Wert der ursprünglichen Nebelmasse (m) in der Umgebung von $0\cdot 0026$ liegt, so ist diese Bedingung unter Voraussetzung näherungsweiser Homogenität erfüllt und wird auch erfüllt bleiben, da dann bei der Kondensation $a^3 q$ merklich konstant bleibt — eigentlich wegen der Ringabtrennungen sogar etwas kleiner wird.

Wenn aber in irgend einer Region der Nebelhülle eine starke Abweichung von der Homogenität stattfindet, etwa eine Zunahme der Dichte, so daß für die aufeinander folgenden Ringbildungen die Größe $a^3 q$ zunimmt, so kann von irgend einer Abtrennungsdistanz a an die Möglichkeit einer Ringbildung nicht mehr gegeben sein und nur eine Zone zerstreuter Materie entstehen. Wie man aus dem wahrscheinlichen Wert für (m) erkennt, würde das bei dem vierfachen Betrag der mittleren Dichte eintreten. Bei einem derartigen zerstreuten Zustand ist nun allerdings eine Vereinigung zu einer zusammenhängenden Planetenmasse von vornherein ebenso denkbar, wie nach einem Ringzerfall, nur ist hier diese Vereinigung schon wegen der offenbar viel größeren Zerstreuung sehr unwahrscheinlich, kann aber unter Umständen ganz unmöglich werden. Man kann nämlich wohl annehmen, daß es sich dabei zunächst um die Bildung kleinerer homogener Massen handeln wird. Für die Vereinigung zu größeren homogenen Massen, die schon einer merklichen Gezeitenwirkung unterliegen, muß aber nach der Grenzbedingung für homogene Gleichgewichtsfiguren unter diesen Verhältnissen

$$\frac{\omega^2}{2\pi k^2 q} < 0\cdot 046 \quad \text{oder} \quad 4\pi k^2 q > 43\,\omega^2$$

die Dichte über einem bestimmten Betrage liegen, der, wie man unmittelbar sieht, noch sehr weit von jenem entfernt ist, der die Ringbildung unmöglich gemacht hat. Das wahrscheinliche Resultat wird also eine Zone zahlreicher kleiner Begleitkörper sein.

Die Umstände für die Bildung einer einzigen Planetenmasse liegen nach dem Zerfall eines Ringes viel günstiger. Abgesehen von der wahrscheinlich viel geringeren Zerstreuung kann in diesem vorgeschrittenen Stadium die Dichte für die Bildung größerer homogener Massen bereits den erforderlichen Betrag erreicht haben; möglicherweise ist aber schon ein Kondensationszentrum vorgebildet, dann ist die Laplace'sche Massenanordnung mit dem der Masse nach überwiegenden Kern gegeben und bei einer solchen existiert nur eine Bedingung für die Dimension der atmosphärischen Hülle (der in 8. gegebenen Größe r_0).

Nimmt somit schon in dem ursprünglichen Laplace'schen Sonnennebel die Dichte der Gashülle gegen den Kern stetig zu, so werden für die ersten Abtrennungen die Bedingungen für die Ringbildung und daraus sich entwickelnder Laplace'scher Sekundärsysteme gegeben sein; in jener Distanz, in welcher für die Grenzschichte

$$4\pi k^2 q > \frac{\omega^2}{14}$$

wird, wird eine Zone kleinerer Körper beginnen, die dort enden wird, wo

$$4\pi k^2 q > 43\,\omega^2$$

ist, und die Möglichkeit des Zusammenballens der abströmenden Massen zu dichteren homogenen Körpern ohne vorhergehende Ringbildung beginnt.

Wie man sieht, ergibt sich aus dieser Annahme das Charakteristische der Konstitution unseres Sonnensystems mit dem zwei Planetenkategorien trennenden Asteroidenring.

Es ist zu bemerken, daß Roche für die Entstehung des letzteren gerade die entgegengesetzte Annahme gemacht hat: eine Zone geringerer Dichte, beziehungsweise eine Abnahme der charakteristischen Größe $a^3 q$. Roche berücksichtigt nur die Bedingung für die Bildung homogener Planetenmassen, die eine untere Grenze für die Dichte bestimmt, muß demnach für die Masse der Nebelhülle am Beginn der Planetenbildungen einen unwahrscheinlich hohen Betrag annehmen und für das Intermittieren innerhalb der Asteroidenzone einen Rückgang im Verlauf der Dichte, die ziemlich willkürlich als Folge einer vermehrten Kondensation um die Zentralmasse angenommen wird.

Diese Zwischenzone des Dichteverlaufes, die für die Bildung größerer zusammenhängender Planetenmassen ungeeignet ist, kann noch schärfer durch die Bildung der inneren Ringe ausgeprägt sein. Angenommen, es würde für den regulären Verlauf der Dichte etwa innerhalb der Marsbahndistanz die Region merklichen Widerstandes der Nebelmasse begonnen haben. Nach den Betrachtungen in 2. *a* würden dann die inneren Kreisströme vom Typus D zwischen dieser und der — näherungsweise — doppelten Distanz eine Häufungsstelle besitzen, daher ein abnormales Ansteigen der Dichte verursachen und die asteroidische Zone in die Umgebung der Maximaldichte verlegen, so daß nach dieser Zone noch einmal ein Laplace'scher Körper möglich wäre, worauf das Massenverhältnis der Marssatelliten hinweist.

Die physikalischen Verhältnisse der inneren Planeten hingegen lassen eher auf eine direkte Vereinigung aus der abgeströmten Materie zu einem nahezu homogenen Körper ohne vorhergehende Ringbildung schließen, was auch durch das Massenverhältnis des Erdmondes zu seinem Hauptkörper bestätigt wird.

Wie aus den hier durchgeführten Betrachtungen hervorgeht, lassen sich die Laplace'schen Vorstellungen über den Ausgangszustand und die Entwicklung unseres Sonnensystems, sowie die von Roche daran geknüpften Ausführungen, soweit sie die großen Züge betreffen, völlig aufrecht erhalten. Aus der Kenntnis gewisser Stabilitätsbedingungen, ferner aus der durch die Arbeiten Darwins gegebenen Einsicht in die Bedeutung der Gezeitenwirkung bei kosmogonischen Vorgängen haben sich allerdings in einzelnen Punkten wesentliche Modifikationen ergeben müssen. Diese letzteren haben aber das ganze Bild des Entstehungsprozesses nicht nur einheitlicher gestaltet und durch Annahmen, die völlig in der Natur des Ausgangszustandes gelegen sind, von Schwierigkeiten befreit, die auch noch von Roche nur durch etwas erzwungene Hilfshypothesen beseitigt werden konnten — sondern sind auch imstande, gewisse Einwände zu entkräften, die gegen die Laplace'sche Kosmogonie erhoben wurden.

Es soll noch bemerkt werden, daß die quantitativen Verhältnisse der äußeren großen Planeten und ihrer Sekundärsysteme sich restlos dem Laplace'schen Entwicklungsprozeß anpassen. Die ziffermäßigen Nachweise finden sich ausführlich in Roche's schon mehrfach zitiertem »Essai sur la constitution et l'origine du système solaire« Montpellier 1873, worauf hier, um Wiederholungen zu vermeiden, hingewiesen werden muß, einer Arbeit, welche in diesem Teil keiner weiteren Ergänzungen oder Berichtigungen bedarf (vielleicht mit Ausnahme der Betrachtung über das Ringsystem

Saturns, dessen bereits in 3. *a* der vorliegenden Abhandlung gedacht wurde). Wesentlich andere Vorgänge liegen der Entwicklung der inneren Planeten zugrunde, zu deren ausführlicher Analyse die Fundamente in den die wissenschaftliche Kosmogonie begründenden großen Arbeiten Poincaré's und Darwin's gegeben sind.

Ihre ausschließliche Geltung dürften diese letzteren wohl in der Entwicklung der Doppel- und mehrfachen Systeme haben, während die Verhältnisse in unserem Sonnensystem im großen und ganzen zweifellos die Laplace'schen Anschauungen als gegeben erscheinen lassen.

Die Laplace'sche kosmogonische Hypothese — mit den hier erörterten Modifikationen — erscheint daher in der Einfachheit ihrer Voraussetzungen und der inneren Konsequenz ihrer Folgerungen, die keiner weiteren ergänzenden Hypothesen bedürfen, sowie in ihrer Widerspruchslosigkeit mit den realen quantitativen Verhältnissen, wohl als die wahrscheinlichste und am besten begründete Anschauung über die Entwicklungsgeschichte unseres Sonnensystems.

WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE DER MIT UNTERSTÜTZUNG DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN AUS DER ERBSCHAFT TREITL VON F. WERNER UNTERNOMMENEN ZOOLOGISCHEN EXPEDITION NACH DEM ANGLO-ÄGYPTISCHEN SUDAN (KORDOFAN) 1914.

IV.

BEARBEITUNG DER FISCHE, AMPHIBIEN UND REPTILIEN

VON

F. WERNER

MIT 2 TAFELN, 8 TEXTFIGUREN UND 1 KARTE

VORGELEGT IN DER SITZUNG VOM 4. JULI 1918

Einleitung.

Als nach der Rückkehr von meiner ersten, im Jahre 1905 ausgeführten zoologischen Forschungsreise nach dem angloägyptischen Sudan, deren Ergebnisse nunmehr zum größten Teile bereits in den Sitzungsberichten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien erschienen sind, die Nachforschungen in der zoologischen und Reiseliteratur über den Sudan ergaben, daß die Provinz Kordofan in dem, schon als Ganzes genommenen, zoologisch wenig erforschten Lande selbst wieder ganz besonders als Terra incognita anzusehen war, tauchte bei mir der Plan auf, eine Reise in dieses Gebiet zu unternehmen, das von der Grenzlinie der paläarkitschen und äthiopischen Faunenregion durchschnitten wird und dessen bisherige Erforscher mehr oder weniger das Mißgeschick hatten, daß ihre zoologischen Sammlungen nur zum kleinsten Teile in europäische Museen gelangten, sondern meist unterwegs verloren gingen; namentlich gilt dies für die niedere Tierwelt, über deren Zusammensetzung wir nur sehr spärliche Kenntnisse haben, ganz abgesehen davon, daß genauere Fundortsangaben bei den älteren Autoren völlig fehlen und die Heimatsangabe »Kordofan« bei einem Lande, das in der SN- wie in der WO-Ausdehnung wenigstens 600 *km* weit sich erstreckt, kaum brauchbar erscheint.

Nun wandte ich mich an den hochherzigen Förderer bereits meiner ersten Expedition nach dem Sudan, Exzellenz Rudolf Freiherrn v. Slatin, damals Inspector General im Sudan, mit der Bitte um

Befürwortung meines Ansuchens bei der Sudanregierung um Erlaubnis zum Eintritt in die Provinz Kordofan, welche wegen häufiger Unruhen im Süden im allgemeinen nicht zugänglich ist. Durch die Intervention Seiner Exzellenz erhielt ich die Erlaubnis in kürzester Zeit und es ist mir eine Herzenspflicht, ihm für die unablässige und tatkräftige Fürsorge für unsere Expedition, wodurch alle Hindernisse aus dem Wege geräumt wurden, alle Behörden auf unserem Wege uns das größte Entgegenkommen erwiesen, auch im Namen meiner Reisegefährten den ergebensten Dank an dieser Stelle zum Ausdruck zu bringen.

Nicht minder aber möge der hohen Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, welche durch die Gewährung einer ansehnlichen Subvention aus der Erbschaft Treitl die Ausführung der Expedition ermöglichte, der ehrfurchtsvollste Dank hier dargebracht werden.

Es muß ferner mit dem aufrichtigsten Danke anerkannt werden, daß sämtliche Behörden des angloägyptischen Sudan ohne Ausnahme, ebenso wie auch auf meiner früheren Reise, uns ein weitgehendes Entgegenkommen und wärmste Unterstützung unserer Tätigkeit bewiesen.

Dank der eifrigen, unermüdlichen und opferwilligen Unterstützung von Seite meiner beiden lieben Reisegefährten, Herrn Prof. Richard Ebner und Herrn Dr. Otto v. Wettstein ist es unserer kleinen Expedition möglich gewesen, in verhältnismäßig kurzer Zeit, wie schon die bisherigen Publikationen in den Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zeigen und auch die folgenden noch weiterhin zeigen werden, gelungen, ein sehr reiches zoologisches Material zusammenzubringen und für die zoologische Erforschung Kordofans, wie wohl ohne Überhebung gesagt werden kann, die Grundlage zu schaffen, auf der weitere Forschungsreisen weiterbauen können.

Soviel über die Vorgeschichte der Expedition. Über die Geschichte der naturwissenschaftlichen Erforschung Kordofans, die zoographische Gliederung Kordofans sowie über den Verlauf der Reise soll auf die ausführlichen Mitteilungen von Dr. O. v. Wettstein (in diesen Denkschriften, 94. Band, 1917) hingewiesen werden, in welchen nicht nur die pflanzengeographischen und geologischen Verhältnisse des Landes erörtert werden, sondern auch alle einigermaßen wichtigeren Literaturangaben allgemeinerer Natur zusammengestellt sind, wodurch sich der Verfasser um alle späteren Bearbeiter von naturwissenschaftlichem Material aus Kordofan verdient gemacht hat.

Was die Grenzlinie zwischen dem paläarktischen und äthiopischen Faunengebiet (bei Wettstein speziell für Kordofan: nordkordofanisches Steppengebiet—Nubabergland) anbelangt, so ist sie für alle landlebenden Wirbeltiere von uns übereinstimmend in der Gegend zwischen Nubbaka und Sungikai, also zwischen 12° 12′ und 12° 21′ n. Br. festgestellt worden; für die Reptilien ist diese Grenzlinie zwar nicht sehr auffällig, wegen der überhaupt geringen Zahl von Arten, die zur Beobachtung kamen, aber das fast plötzliche Aufhören von *Acanthodactylus boskianus, Chalcides ocellatus* und *Tarentola annularis*, das Auftreten von *Mabuia striata* und *Agama doriae cordofanensis* ist immerhin ein Zusammentreffen von unverkennbarer Bedeutung.

Nach Osten geht die Grenzlinie, soweit ich aus verschiedenen Stichproben beim Besuche der beiden Ufer des Weißen Nils ersehen konnte, tief herab, etwa bis in die Gegend von Kodok (Faschoda), verläuft dann am ganzen Ostufer des Stromes nach Norden bis etwas über Duem hinaus und wendet sich wieder nach Nordosten, wo sie den Blauen Nil etwas nördlich von Sennaar überquert. Sennaar selbst gehört seiner ganzen Reptilienfauna nach ganz zweifellos bereits vollständig zur äthiopischen Region.

Das Westufer des Weißen Nils möchte ich nördlich von Kodok für völlig paläarktisch halten; alle äthiopischen Funde stammen ausnahmslos vom Ostufer und der ganze Landschaftscharakter des Gebietes läßt mich vermuten, daß die Fauna der vereinzelten kleinen Berge von derjenigen des Gebel Araschkol, trotz seiner weit nördlicheren Lage, kaum wesentlich verschieden sein dürfte.

Das südkordofanische Steppengebiet v. Wettstein's ist herpetologisch durch das vollständige Fehlen jeder *Agama* sowie der im Nubalande so häufigen beiden *Mabuia*-Arten *M. quinquetaeniata* und *perroteti* charakterisiert; *Agama colonorum*, ebenso wie diese beiden *Mabuia*-Arten weichen augenscheinlich südlich von Tanguru dem Inundationsgebiete des Weißen Nils auf der Strecke seines west-

östlichen Verlaufes und des Bahr-el Gebel in weitem Bogen aus und kommen an diesem letzteren erst da wieder zum Vorschein, wo die Ufer sich über das Flußniveau um einige Meter erheben, also bei Bor und südlich davon; am Bahr-el-Ghazal ist wenigstens außer der Siedler-Agame *M. quinquetaeniata* sicher nachgewiesen.

Verbreitungsgrenzen konnten im übrigen nur für solche Reptilien aufgestellt werden, welche häufiger zur Beobachtung gelangten und für die auch weiter östlich noch Fundortsangaben vorliegen, so für *Pristurus flavipunctatus*, den charakteristischen Gecko der Akazien, dessen Nordgrenze von Bara in Nordkordofan über den Gebel Araschkol nordwestlich von Duem (auf der Karte nicht mehr sichtbar) gegen Sennaar zieht; im allgemeinen haben wir aber noch viel zu wenig Fundortsangaben für das weite Gebiet, so daß wir von der Eintragung weiterer Grenzlinien noch geraume Zeit Abstand nehmen müssen.

Bemerkenswert ist immerhin die Übereinstimmung der Verbreitung gewisser Reptilienarten mit derjenigen einiger auffallender Pflanzen. So geht *Agama colonorum* nahezu so weit nach Norden, als der Tebeldiebaum *(Adansonia digitata)* und scheint auch nach Süden in Kordofan ungefähr dieselbe Grenze zu haben. Baumförmige Euphorbien treten ungefähr in derselben Ausdehnung von Norden nach Süden auf, wie *Agama doriae cordofanensis*, die Verbreitung des Bambus *(Oxytenanthera abyssinica)* entspricht derjenigen von *Chalcides bottegi*. Auch dürfte die Dattelpalme in ihrer Verbreitung in Kordofan ebenso wie am Westufer des Weißen Nils ziemlich genau derselben Linie folgen, wie die paläarktischen Reptilien und so würde auch noch manche andere Charakterpflanze des Gebietes Parallelerscheinungen in der Reptilienfauna erkennen lassen, wie dies namentlich für *Borassus* und *Python* höchst wahrscheinlich ist.

A. Fische aus dem Blauen und Weißen Nil.

Die Ausbeute an Fischen auf meiner zweiten Sudanreise ist sowohl der Arten-, als auch der Individuenzahl nach bedeutend geringer gewesen als auf der ersten (1905). Dies ist leicht begreiflich, wenn man bedenkt, daß das Hauptforschungsgebiet diesmal das an persistierenden Gewässern überaus arme Wüsten- und Steppenland Kordofan war und nur auf dem Hinwege bei einem zehntägigen Aufenthalte am Blauen Nil bei Senaar, auf dem Rückwege bei Tonga und schließlich auch in einem kleinen Wassergraben am Weißen Nil Fische gesammelt werden konnten. Dieser kleine Graben, der den Abfluß eines Schöpfrades (Sakkieh) bildete, ergab übrigens innerhalb einer Stunde das qualitativ beste ichthyologische Ergebnis der ganzen Reise, drei Seltenheiten ersten Ranges, *Cromeria nilotica, Barbus pumilus* und *Eleotris nanus*.

Am wenigsten befriedigend war die Fischausbeute bei Senaar; während der ganzen Zeit unseres Aufenthaltes wurde uns außer einem großen *Tetrodon fahaka* und *Synodontis serratus* kein irgendwie bemerkenswerter Fisch gebracht und auch eigene Sammeltätigkeit förderte nichts von Belang zutage, während am Ufer des Weißen Nils bei Tonga immerhin, wenn auch mit großer Mühe, eine ziemliche Anzahl ganz interessanter Fische, darunter auch wieder die drei sudanesischen *Haplochilus*-Arten, durch Fang mit dem Schöpfnetz vom Ufer aus erbeutet werden konnten, ebenso zahlreiche junge *Lates niloticus* sowie *Nannaethiops* und *Micralestes* sowie schließlich auch ein *Polypterus senegalus*, der erste einer langen Reihe von nahezu einem halben Hundert von Exemplaren.

Der Fischmarkt in Khartum erwies sich als sehr schwach beschickt, und von den wenigen Exemplaren, deren Größe das Mitnehmen noch erlaubte, waren die einen bereits maceriert, die anderen durch Speerstiche arg zugerichtet, so daß nur ein *Marcusenius petherici* als bemerkenswertes Ergebnis des Marktbesuches zu erwähnen ist.

Was den Habitus des linken (nördlichen) Nilufers bei Tonga anbelangt, so ist es nicht unerheblich von dem rechten, an dem ich im Jahre 1905 bei Khor Attar gefischt hatte, verschieden. Dort fand ich

das Ufer sanft abfallend, mit Sand und Geröll bedeckt, das Wasser war klar und bis weithin sehr seicht. Erst in ziemlicher Entfernung von Khor Attar finden sich ähnliche Verhältnisse wie bei Tonga, wenigstens was die Vegetation anbelangt, in der die Rasen von *Pontederia* und die dichten Massen von Ceratophyllen besonders hervortreten.

Während unseres Aufenthaltes in Tonga (10. bis 17. April 1914) führte der Weiße Nil Hochwasser; der von dunklem Schlamm undurchsichtige Strom wälzte seine Wassermassen mit großer Geschwindigkeit dahin. Die Fischerei mit dem Handnetz erwies sich am Nordufer recht dankbar; ich konnte dabei auf der unteren der beiden Uferterrassen stehen, von denen die obere, auf der auch Tonga steht, nur zur Regenzeit überflutet ist; auf der unteren war gerade so viel Platz, um beim Netzziehen zu stehen, während ich zum Zwecke des Aussuchens des Fanges auf die obere klettern mußte, umsomehr, als sie einigen Schutz vor den gerade bei Tonga sehr zahlreichen Krokodilen bot.

Die Gegend von Tonga ist auch von Loat befischt worden; umso merkwürdiger ist es, daß ihm die dort so häufigen beiden *Haplochilus*-Arten entgangen sind. In dem Dickicht von Wasserpflanzen am Ufer sind außer *Polypterus senegalus* zahlreiche Jungfische von *Lates, Tilapia, Hemichromis,* nebst *Haplochilus, Micralestes* und *Nannaethiops* anzutreffen; größere Fische wurden von den Schilluks, obwohl selten und meist in sehr schlechtem Erhaltungszustande, gebracht.

In dem parallel mit dem Weißen Nil nördlich von ihm verlaufenden Khor Lolle konnte ich des überaus dichten Pflanzenwuchses wegen keine Fische erbeuten; da, wo offenes Wasser war, hatten zahlreiche Wäscherinnen die eventuell vorhandenen Fische durch den großen Aufwand von Seife vertrieben.

So blieb das Ergebnis meiner Sammeltätigkeit quantitativ naturgemäß ein geringes, umsomehr, als auch infolge besonderer Verhältnisse die Fischer nur sehr wenig zu bringen imstande waren; qualitativ dürfte es dem der ersten Reise nur wenig nachstehen, umsomehr, als auch eine für den ganzen Nilstrom neue Fischgattung in einer n. sp. mitgebracht wurde.

An Literaturzitaten wurde durchwegs nur Boulenger's Monumentalwerk »The Fishes of the Nile« in: »Zoology of Egypt«, London 1907, und meine eigene kleine Arbeit: »Beiträge zur Kenntnis der Fischfauna des Nils« (Sitzungsber. der Akad. der Wiss. in Wien, Bd. CXV, Abt. 1, Juli 1906) angegeben. Letztere ist natürlich nicht deshalb erwähnt, weil sie etwa von besonderer Wichtigkeit wäre, sondern nur, um den Vergleich zu ermöglichen, welche Arten auch schon bei der ersten Reise von mir gesammelt wurden.

Da die zoologische Sammlung der Universität sowohl die Duplikate der auf meiner ersten Sudanreise zusammengebrachten Fische, als auch, als Geschenk der ägyptischen Regierung, eine reiche und wohlkonservierte Kollektion von Nilfischen aus der Sammlung von Loat besitzt, so daß über 80 Arten in der Sammlung vorhanden sind, so konnte ich alle einigermaßen schwierig zu erkennenden Arten mit dem von Boulenger bestimmten Material der Kollektion Loat vergleichen.

Als Nachtrag zu den Bemerkungen in meiner vorigen Arbeit über die Nilfische möge erwähnt werden, daß das von mir aus Khor Attar mitgebrachte Exemplar von *Protopterus aethiopicus* Heck. eigentlich, wie aus dem Boulenger'schen Werke hervorzugehen scheint, das erste aus dem Weißen Nil stammende mit genauer Fundortsangabe ist. Boulenger erwähnt nur ein einziges von ihm untersuchtes Exemplar mit dem Fundort »Mouth of the White Nile«. Diese Angabe dürfte kaum auf die »Mündung« sich beziehen, da der Weiße und Blaue Nil ja bei Khartum im Hauptstrom sich vereinigen, wo *Protopterus* sicher nicht mehr vorkommt, sondern eher auf die »Einfahrt«, also die Stelle, wo der Bahr-el-Gebel nach Aufnahme des Bahr-el-Ghazal in den Bahr-el-Abiad übergeht; nicht weit von dieser Stelle ist ja auch mein Exemplar gefangen worden und ich habe bereits erwähnt, daß *Protopterus* bei Khor Attar in großen Exemplaren auftritt. Sein Vorkommen weit nördlich davon (Turra el Chadra), das Marno erwähnt, scheint Boulenger nicht bekannt gewesen zu sein; aus welchem Teil des Stromes die von Marno gesammelten Exemplare unserer Sammlung stammen, konnte ich leider nicht in Erfahrung bringen.

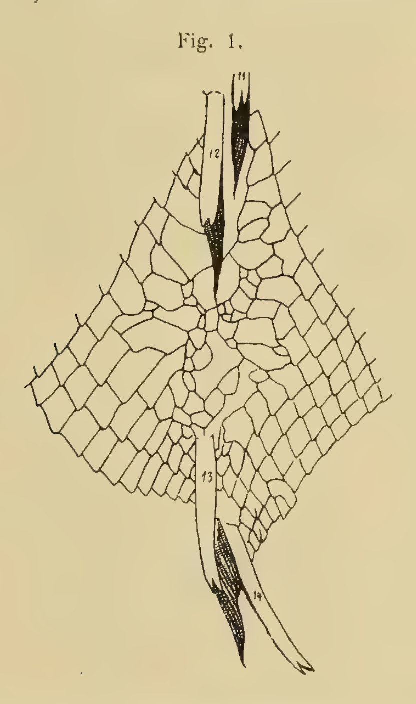
Polypteridae.

Polypterus bichir Geoffr.

Boulenger, p. 5, Taf. I.
Werner, p. 1118.

Ich erhielt in Tonga drei Exemplare, die leider durch Speerstiche mehr oder weniger verletzt sind und konservierte die Häute trocken, weil es uns zum Schlusse unserer Reise bereits an Gefäßen

Fig. 1.



mangelte, um so große Objekte in Konservierungsflüssigkeiten aufzubewahren. Die Art ist jedenfalls bedeutend seltener als die nächste. Im Darm fand sich der von B. Klaptocz neuerlich beschriebene Cestode *Polyonchobothrium polypteri* (Leydig);[1] andere Parasiten konnte ich nicht finden.

Länge (ohne Schwanzflosse)	Kopflänge	Kopfbreite	Rücken-stacheln	Schuppen in der Seitenlinie	Schuppen um die Rumpfmitte vor dem ersten Rückenstachel	Schuppen vom Occiput bis zum ersten Rückenstachel
I. (17./III.) 565 *mm* (♀)	96	60	15	64	46	14
II. (16./III.) 550 *mm* (♀)	100	62	12 + 2	64	48	16
III. (16./III.) 490 *mm* (♂)	93	54	17	64	?	14

Die bei *P. endlicheri* stets so deutliche Querbindenzeichnung ist auch bei dem kleinsten der drei vorliegenden *bichir*-Exemplare ziemlich deutlich erkennbar.

Die geringe Zahl von Dorsalstacheln bei Nummer II ist auf eine (ganz verheilte) Verletzung des Rückens zurückzuführen; zwischen Stachel 12 und 13 ist die Rückengegend mit unregelmäßigen und ungleich großen Schuppen bedeckt, von welcher eine Abbildung (Fig. 1) gegeben wurde.

Polypterus senegalus Cuv.

Boulenger, p. 11, Taf. III.
Werner, p. 1119. Taf. 1, Fig. 1.

Ich erhielt im Laufe meines Aufenthaltes in Tonga (10. bis 17./IV.) etwa 50 Exemplare dieses Fisches, von denen ich 36 konservierte. Im Jahre 1905 konnte ich bei einem doppelt so langen Aufenthalte am Südufer des Weißen Nils, nur wenige Stunden stromaufwärts von Tonga (bei Khor

[1] Zentralbl. für Bakteriologie und Parasitenkunde, XXXXI, 1906, p. 527 bis 536.

Attar) nur ein erwachsenes Exemplar erhalten und ein ganz junges selbst fangen. Das erste Exemplar fing ich selbst am Vormittag des Charsamstags (11./IV.) mit einem Handnetz vom Ufer aus und bewahrte es längere Zeit in einem Kübel lebend; am 18. erhielt ich vier weitere Exemplare, die während meiner Abwesenheit vom Hause vom Fischer einfach auf den Tisch gelegt wurden und hier vollständig eintrockneten. In den Kübel gebracht, erholten sich zwei davon wieder vollständig; dies wurde in der Folge noch mehrmals beobachtet.[1] Von nun ab erhielt ich täglich mehrere Exemplare, davon die meisten durch einen Griechen, der sie vom Ufer nahe dem von den Missionären angelegten Parkinsonia-Wäldchen mit einer sehr primitiven Angel fing. Von den acht im ganzen lebend mitgenommenen Exemplaren hielten die meisten die langwierige Heimreise nicht aus, das letzte ging den Abend vor unserer Ankunft in Port Sudan (27./IV.) zugrunde.

Die tot und trocken eingelieferten Exemplare hatten durchwegs eine beschädigte Schwanzflosse, so daß in der nachstehenden Übersicht die Gesamtlänge für sie nicht angegeben werden konnten.

An Parasiten wurden bei sechs Exemplaren ein Copepode (*Lernaeocera* sp. n.), der bereits von Boulenger erwähnt wird, in der Achselhöhle angetroffen; Cestoden fehlten im Darm bei allen untersuchten Exemplaren, während zwei von drei *P. bichir* solche beherbergten; dagegen fand sich bei einem Exemplar ein Trematode im Darm nicht selten.

Von den 36 mitgebrachten Exemplaren erwiesen sich auffallenderweise 19 als ♂♂, 17 als ♀♀, und ebenso war, gegen die Norm, das größte Exemplar (320 *mm*) ein ♂ und erst das zweitgrößte ein ♀.

Die Zahl der Rückenflossenstacheln war bei 14 Exemplaren 10, bei 21 Exemplaren 9 und nur bei einem 8; Schuppen zwischen Occiput und erstem Rückenflossenstachel 15 (bei 2), 16 (bei 7), 17 (bei 8), 18 (bei 11), 19 (bei 5), 20 (bei 2), 21 (bei 1); Schuppen um den Körper herum (vor dem ersten Dorsalstachel) 39 (bei 1), 38 (bei 3), 37 (bei 7), 36 (bei 10), 35 (bei 6), 34 (bei 4), 33 (bei 1); bei 4 Exemplaren konnte wegen größerer Verletzungen die Zählung nicht mit Sicherheit ausgeführt werden.

Vom Kiemendeckel bis zur Caudale zählte ich 59 Schuppen bei 5, 58 bei 9, 57 bei 11, 56 bei 7, 55 bei 3, 54 bei 1 Exemplar.

Es ist also das größte der mitgebrachten Exemplare 320 (283), das kleinste 196 (180) *mm* lang.

Die Maximalzahl der Dorsalstacheln 10, Minimalzahl 8, Durchschnitt 9.

Das Maximum der Schuppen vor dem ersten Dorsalstachel 21, das Minimum 15; Durchschnitt 17 bis 18.

Das Maximum der Schuppen um den Körper 39, Minimum 33, Durchschnitt 36.

Das Maximum der Schuppen längs des Körpers 59, Minimum 54, Durchschnitt 57.

In Bezug auf das Verhältnis von Kopflänge zu Kopfbreite stellte sich heraus, daß die Breite mit zunehmender Länge mehr als im Verhältnis wächst; so beträgt das Verhältnis bei den kleineren Exemplaren mit 29 bis 36 *mm* Kopflänge und 18 bis 23 *mm* Breite im Durchschnitt 1·65 : 1, bei den mittleren (Kopflänge 35 bis 39, Breite 19 bis 26 *mm*) 1·61 : 1, bei den größten (Kopflänge 40 bis 42, Breite 24 bis 28 *mm*) 1·57 : 1.

Mormyridae.

Marcusenius pethérici Blngr.

Boulenger, p. 45, Taf. VIII, Fig. 3.

Ein einziges, durch Speerstiche verletztes Exemplar erwarb ich auf dem Fischmarkt in Khartum. Es stimmt in Größe und allen wesentlichen Merkmalen mit der Abbildung bei Boulenger überein. D. 32, A. 24. Länge 228 *mm* (bis zum einspringenden Winkel der C.). Kopflänge 40, Schnauze 9, Auge 11, größte Körperhöhe 63, Höhe des Schwanzstieles 14 *mm*.

---

[1] Diese Lebenszähigkeit steht im Widerspruche mit den Beobachtungen von Harrington an *P. bichir*.

Mormyrus kannume Forsk.

Boulenger, p. 61, Taf. XII, Fig. 1.
Werner, p. 1124.

Ich brachte den Kopf eines großen Exemplars von Senaar (22./II.) mit, dessen wesentliche Charaktere ich mir noch dort notiert hatte, so daß eine sichere Bestimmung möglich war. Färbung im Leben schön goldgrün, Flossen rötlich. Gesamtlänge des Exemplares 515 *mm*, Kopflänge 135 *mm*; D. 62, A. 19.

Hyperopisus bebe Lac.

Boulenger, p. 70, Taf. V, Fig. 2.
Werner, p. 1124.

Ein großes Exemplar, 410 *mm* lang, vom Fischmarkt von Khartum. D. 13, A. 58.

Gymnarchus niloticus Cuv.

Boulenger, p. 74, Taf. XIII.
Werner, p. 1124.

Ich erhielt (15./IV.) ein kleines Exemplar am südlichen Ufer des Weißen Nils (gegenüber Tonga) von 268 *mm* Gesamtlänge (Kopflänge 75, Entfernung von Schnauzenspitze zum Auge 22, Kopfbreite 30 *mm*), sowie ein großes, etwas über 1 *m* langes Exemplar (10./IV.), von dem ich nur den Kopf (Länge 190, Schnauzenlänge 60, Breite 85 *mm*) mitnehmen konnte.

Cromeriidae.

Cromeria nilotica Blngr.

Boulenger, p. 94, Taf. XIV, Fig. 3.

Diese seltene Art fing ich in einem einzigen Exemplare in dem eingangs erwähnten kleinen Wassergraben nächst Renk (20./IV.).

Fig. 2.



Es war im Leben von weißlicher Färbung, durchscheinend, in der Rückenmitte dunkel punktiert, die Flossen ganz farblos und durchsichtig.

Characinidae.

Hier und später sind diejenigen Arten, die zwar beobachtet wurden, von denen aber Exemplare nicht mitgebracht werden konnten, mit einem Sternchen (*) bezeichnet.

***Hydrocyon forskalii** Cuv.

Boulenger, p. 100, Taf. XVI, Fig. 1, XVII, Fig. 1.
Werner, p. 1125.

Halbwüchsige Exemplare traf ich auf dem Fischmarkt in Khartum nicht selten an, doch waren sie bei der hohen Temperatur durchwegs bereits maceriert.

Alestes nurse Rüpp.

Boulenger, p. 122, Taf. XIX, Fig. 1 bis 2.

Werner, p. 1128.

Ein Exemplar von Tonga (13./IV.): D. 1 + 9, A. 3 + 14, lin. lat. 28 $\frac{5^1/_2}{3^1/_2}$, Länge 110 *mm* (ohne C.). Ein schwarzer Fleck hinter dem Kiemendeckel und vor dem Ende des Schwanzstieles.

***Alestes macrolepidotus** Cuv. Val.

Boulenger, p. 127, Taf. XX.

Werner, p. 1128.

Ein Exemplar von 495 *mm* Länge (D. 2 + 8, A. 3 + 14, lin. lat. 23) erhielt ich bei Senaar (22./II.). Färbung im Leben: Oberseite schön goldgrün, Schuppen an den Bauchseiten mit lebhaft mennigroten Flecken; Bauch weiß; Schwanz-, After- und Rückenflosse lebhaft grüngelb. Im Darm zahlreiche Trematoden.

Micralestes acutidens Peters.

Boulenger, p. 131, Taf. XIX, Fig. 3 bis 4.

Werner, p. 1128.

Bei Kosti, Renk und Tonga gefangen; findet sich an vegetationsärmeren Uferstellen, während die folgende Art, ebenso wie *Haplochilus, Tilapia* und *Hemichromis* sich mehr zwischen den Pflanzen aufhalten. Das größte gesammelte Exemplar (Tonga) mißt 43 *mm* bis zum Ende der C. Im Magen wurden große Mengen von Cladoceren, Copepoden und einzelne Culicidenlarven gefunden.

Nannaethiops unitaeniatus Gthr.

Boulenger, p. 137, Taf. XXI, Fig. 3.

Werner, p. 1129.

Dieser kleine Fisch (das größte gefangene Exemplar mißt 28 *mm* mit Einschluß der C.) ist häufig in dem dichten Gewirre von Unterwasserpflanzen im Nil bei Tonga. Im Magen fand ich vorwiegend Algenfäden; vereinzelte Reste von Insektenlarven und Copepoden dürften wohl nur mit dieser Nahrung aufgenommen worden sein.

***Distichodus engycephalus** Gthr.

Boulenger, p. 148, Taf. XXIV, Fig. 2.

Werner, p. 1129.

Von dieser anscheinend einzigen *Distichodus*-Art des Blauen Nils konnte ich ein großes Exemplar bei Senaar, wo sie auch bereits von Loat gefunden wurde, untersuchen (22./II.). Färbung im Leben: Oberseite stahlblau mit unregelmäßigen und undeutlichen dunkelblauen Flecken; nahe der Rückenmitte goldgrün. Rückenflosse graublau mit breiter weißlicher Binde, ebenso auch Afterflosse.

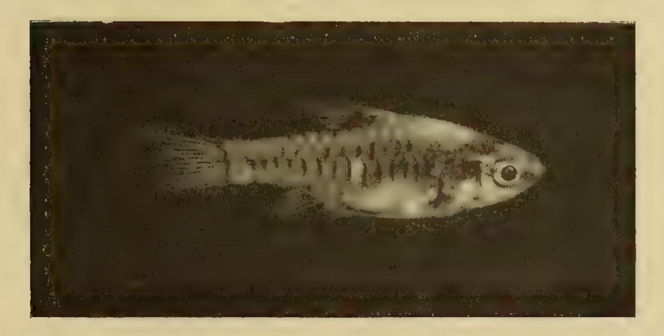
Im Darm zahlreiche Nematoden.

Cyprinidae.

Barbus pumilus Blngr.

Boulenger, p. 259, Taf. XLVIII, Fig. 2.

Fig. 3.



Ich fing ein einziges Exemplar dieser seltenen, aber nach der vorzüglichen Abbildung bei Boulenger leicht kenntlichen Art im genannten Wassergraben bei Renk mit einem Exemplar der folgenden Art (20./IV.). Das Exemplar ist 19 *mm* lang. Schuppen an der Seitenlinie 19.

Barbus stigmatopygus Blngr.

Boulenger, p. 258, Taf. XLVII, Fig. 8.

Ein Exemplar, 15·5 *mm* lang, mit 25 Schuppen in der Seitenlinie, von dem oben erwähnten Wassergraben bei Renk; ein schwarzer Fleck vor dem Ende des Schwanzstieles, einer an der Basis der Anale und zwei an der Seite in gleicher Entfernung voneinander und dem Schwanzfleck.

Barbus neglectus Blngr.

Boulenger, p. 251, Taf. XLVII, Fig. 5.

Ein Exemplar von 20 *mm* Länge, mit 28 Schuppen in der Seitenlinie, fing ich im Weißen Nil bei der Holzstation von Kosti im Weißen Nil (21./IV.); es ist dies der erste Fundort für diese Art in diesem Abschnitte des Nilstromes.

Barbus perince Rüpp.

Boulenger, p. 246, Taf. XLVII, Fig. 2.

Einige Exemplare dieser Art fischte ich bei der Holzstation von Kashawal am Weißen Nil (20./IV.). Der schwarze Fleck vor dem Ende des Schwanzstieles ist bei allen wenigstens andeutungsweise vorhanden.

Neobola nilotica n. sp.

Diese Art, die mir in einem einzigen, noch dazu jungen Exemplare vorliegt, steht in der Mitte zwischen *Neobola* und *Chelaethiops*; mit ersterer Gattung stimmt sie durch das Fehlen einer Längskielung des Bauches, mit letzterer durch die großen, über die Basis der Ventralen etwas hinausreichenden Brustflossen überein. Der Ursprung der D. liegt etwas hinter dem der A. Unterrand der A. deutlich konkav. Oberer Lappen der C. etwas kürzer als der untere, beide abgerundet. D. 9, A. 22, 44 Schuppen in einer Längslinie bis zur C. Gesamtlänge (ohne C.) 20, C. bis zum Ende des oberen Lappens 6 *mm*. Kopflänge 5, größte Körperhöhe 4, Höhe des Kaudalstiels 2 *mm*. Auge groß, sein Durchmesser größer als die Schnauzenlänge; Mundspalte reicht bis unter die Augenmitte. Kiemendeckel und ein Längsband an jeder Seite stark silberglänzend.

Von *N. argentea* unterscheidet sich die neue Art durch die abgerundete Schnauze, die Lage der D., die größere Zahl der Strahlen der A., die längere P., weniger Schuppen in einer Längslinie an der Seite des Körpers; durch die Zahl der Analstrahlen und Schuppen läßt sich die Art auch sofort von *N. bottegi* und *minuta* unterscheiden. — Holzstation von Kosti (21./IV.).

Fig. 4.



Die Auffindung dieser Art, die einer Gattung angehört, die im Nilgebiete bisher nur im Victoria-Nyanza (durch *N. argentea*) vertreten war, im Weißen Nil beweist, daß gerade in kleinen Arten der Nilstrom noch lange nicht genügend erforscht ist. Da ich die neue Art sowohl mit *Chelaethiops* als mit *Barilius* in gleichalterigen Exemplaren vergleichen konnte und die Verschiedenheit in der Länge der Flossen, der Zahl der Flossenstrahlen, die Form des Kopfes und die anderen angegebenen Unterscheidungsmerkmale sich auch in diesem Alter schon als ausgeprägt erwiesen, so glaube ich meine Bestimmung aufrechterhalten zu können.

Barilius niloticus Joannis.

Boulenger, p. 262, Taf. XLVIII, Fig. 3.
Werner, p. 1133.

Nur einmal ist mir diese Art diesmal untergekommen, und zwar in einem jungen Exemplare, das ich bei Tonga fischte.

Siluridae.

Clarias anguillaris L.

Boulenger, p. 280, Taf. XLIX.
Werner, p. 1134.

Einmal wurde mir diese Art in Tonga gebracht (16./III.). Im oberen Weißen Nil bei weitem häufiger als *C. lazera.*

Entropius niloticus Rüpp.

Boulenger, p. 306, Taf. IV, Fig. 1.
Werner, p. 1136.

Vom Blauen Nil bei Senaar mitgebracht (21./II.). Oberseite im Leben prächtig blau mit schmalem goldgrünen Streifen nahe der Rückenmittellinie, Unterseite silberfarbig. Das größere der beiden Exemplare (255 *mm* lang) hat die A. auf einer Strecke von 33 *mm* unterbrochen, doch ist keine Spur einer Verletzung zu sehen.

Bagrus docmac Forsk.

Boulenger, p. 327, Taf. LVIII.
Werner, p. 1137.

Ich erwarb zwei kleine Exemplare auf dem Fischmarkt in Khartoum. Auch sie sind intermediär zwischen *bayad* und *docmac,* indem die Oberlippenbarteln sehr erheblich über die Spitze der Ventralen hinausragen, während der letzte Strahl der Dorsale vor dem inneren Strahl der Ventralen gelegen ist. Kopflänge $1^1/_2$ mal in der Kopfbreite enthalten.

*** Clarotes laticeps** Rüpp.

Boulenger, p. 340, Taf. LXI.
Werner, p. 1138.

Ich sah zwei große Exemplare bei Sennaar (22./II.).

***Synodontis nigrita** Cuv. Val.

Boulenger, p. 366, Taf. LXXI, Fig. 1.
Werner, p. 1141.

Einmal bei Tonga angetroffen (16./IV.); scheint die einzige *Synodontis*-Art im Weißen Nil zwischen der Einmündung des Sobat und des Bahr-el-Zeraf zu sein; auch von Loat bei Tonga gefangen.

Synodontis serratus Rüpp.

Boulenger, p. 372, Taf. LXX und LXXI, Fig. 2.

Ein Exemplar aus dem Blauen Nil bei Senaar, 310 *mm* lang (21./II). Unterkieferzähne 24 + 5 (die 5 in Abständen voneinander vor der dichten Reihe der übrigen stehend). D. 1 + 7, A. 13, P1 + 10; Maxillarbartel 69, äußerer B. des Unterkiefers 42, inneres 12 *mm*; Pektoralstachel 56, Dorsalstachel 60, mit Filament 81, Schnauzenlänge 35, Kopf bis zur Spitze des Humeralfortsatzes 93, Augendurchmesser 11, Interorbitalbreite 24, Fettflosse 84, ihre Entfernung von den Dorsalen 14 *mm*.

Diese Art ist neu für das Gebiet des Blauen Nils.

***Synodontis membranaceus** Geoffr.

Boulenger, p. 383, Taf. LXXV.
Werner, p. 1140.

Diese auffallende Art kommt regelmäßig auf den Fischmarkt in Khartum.

Cyprinodontidae.

Haplochilus loati Blngr.

Boulenger, p. 417, Taf. LXXIX, Fig. 7.
Werner, p. 1142.

Diese kleine Art fand ich in je einem Exempar bei Kashawal und Renk, dagegen nicht bei Tonga, wo die beiden anderen Arten häufig sind.

Haplochilus marni Stdchr.

Boulenger, p. 418, Taf. LXXIX, Fig. 8.
Werner, p. 1142.

Häufig bei Tonga in der Ufervegetation; auch bei Renk angetroffen. Das größte Exemplar von Renk mißt 37·5, das größte von Tonga 36 *mm*. Die Art ist vivipar, das eine Exemplar von Renk hat bei der Konservierung ein Junges mit großem Dottersack geboren. Im Magen eines Exemplares von Tonga wurden Reste eines Käfers und einer Ephemeridenlarve gefunden. Im wesentlichen stimmen die Exemplare mit der Beschreibung von Boulenger überein; doch sind meist 30 Schuppen vom Kiemendeckel bis zur Basis der Caudalen vorhanden. Grundfärbung bei den Exemplaren aus Tonga mehr hellgraubraun, Unterseite weiß, nur bei dem größten Exemplar grau angeflogen; die Flossen undeutlich dunkel gefleckt, beziehungsweise (Caudale) gebändert; die Exemplare von Renk sind lebhaft dunkel gelbbraun, Unterleib graugelblich, Kehle dunkelgrau, Caudale mit tiefschwarzem Querband, dahinter

spärlichen Flecken, Anale mit schwarzem Saum. Die Querbinden (wenn alle deutlich, 10 an der Zahl) häufig auf den Rücken übergreifend.

Haplochilus bifasciatus Stdchr.

Boulenger, z. 419, Taf. LXXIX, Fig. 9.

Werner, p. 1142.

Etwas weniger häufig als vorige Art, mit ihr bei Tonga zusammen vorkommend. Die Gesamtlänge ist ungefähr dieselbe (35 bis 36 *mm*; die Zahl der Schuppen in einer Längslinie bis zur Wurzel der *C* ist 27. Das untere Längsband ist meist breiter und dunkler als das obere und mitunter im hinteren Teile in schiefe Flecken aufgelöst.

Mageninhalt: Ephemeridenlarven.

Anabantidae.

Anabas petherici Gthr.

Boulonger, p. 442, Taf. LXXXIII, Fig. 1.

Werner, p. 1143, Taf. II, Fig. 6, 7.

Dieser Fisch fehlte an dem Nilufer bei Tonga, wenigstens habe ich weder ein Exemplar von den Schilluks erhalten, noch selbst ein solches gefangen; dagegen habe ich zwei große und zwei kleine Exemplare in dem Khor am Südufer gefangen.

1. Gesamtlänge 130 *mm* (mit C), 105 *mm* (ohne C.), Kopflänge 33 *mm*. Größte Körperhöhe 45 *mm*. Stacheln der D. 18, der A. 10; Schuppen 30 $\frac{3}{10}\,\frac{15-16}{13-11}$

2. Gesamtlänge 125 *mm* (mit C.), 104 (ohne C.), Kopflänge 32 *mm*. Größte Körperhöhe 42 *mm*. Stacheln der D. 17, der A. 9; Schuppen 30 $\frac{4}{10}.\frac{15}{11}$.

Serranidae.

Lates niloticus L.

Boulenger, p. 452, Taf. LXXXIV—LXXXV.

Werner, p. 1143, Taf. III, Fig. 9.

Ganz junge Exemplare des Nilbarsches fing ich in Menge in der Ufervegetation bei Tonga; sie waren 11 bis 28 *mm* lang (mit Einschluß der C.). Im Magen fanden sich Copepoden und Ephemeridenlarven recht reichlich vor.

Cichlidae.

Hemichromis bimaculatus Gill.

Boulenger, p. 461, Taf. LXXXVI, Fig. 1.

Werner, p. 1144, Taf. II, Fig. 5.

Häufig bei Tonga in Gesellschaft der *Tilapia nilotica*. Das größte Exemplar, das ich fing, war 64 *mm* lang. Im Magen und Darm wie bei *Tilapia* nur Schlamm und Pflanzenteile.

Haplochromis strigigena Pfeff.

Boulenger, p. 497, Taf. XC, Fig. 2.
Werner, p. 1144 (Paratilapia multicolor).

Junge Exemplare fing ich in dem Wassergraben bei Renk (20./IV.). Sie sind an dem starken blauen Metallglanz des Kiemendeckels und der Körperseiten, den in Längsbändern angeordneten Flecken an den Seiten und der gänzlich verschiedenen Körperform (vorn am höchsten, nach hinten verschmälert) vom jungen *Tilapia* (in der Mitte am höchsten) leicht zu unterscheiden.

Tilapia nilotica L.

Boulenger, p. 523, Taf. XCIII u. XCIV.
Werner, p. 1145.

Ein großes, wenn auch noch nicht erwachsenes Exemplar (185 *mm*) von Tonga (15./III).

D. XVII + 12, A. III + 10; Schuppen an der Körperseite 34; $\frac{4-5}{12} \cdot \frac{21}{15}$.

Größte Körperhöhe 65, Kopflänge 52, Augendurchmesser 9, Interorbitalbreite 22, P. letzter D.-Stachel 25, 3.-A-Stachel 26. Schwanzstiel $1^1/_2$ mal so hoch als lang.

12 Exemplare, halbwüchsig von Senaar (22./II.).

D. XVII + 11 (2 mal), XVII + 12 (5 mal), XVII + 13 (2 mal), 18 + 11 (3 mal).

A. III + 9 (11 mal), III + 8 (1 mal); Schuppen an der Körperseite 31 bis 35; Seitenlinie 20, 16 (1 mal), 21, 15 (1 mal), 21, 17 (2 mal), 22, 10 (1 mal), 22, 14 (1 mal), 22, 16 (1 mal), 22, 17 (1 mal), 23, 10 (1 mal), 23, 15 (1 mal), 23, 17 (1 mal), 24, 17 (1 mal).

8 meist jüngere Exemplare aus Tonga ergeben folgende Zahlen:

D. XVII + 12 (3 mal), XVII + 11 (1 mal), XVI + 13 (1 mal), XVI + 12 (2 mal), XVI + 11 (1 mal).
A. III + 9 (4 mal), III + 8 (2 mal), III + 10 (2 mal).
Seitenlinie 22, 17 (2 mal), 22, 13; 21, 17; 21, 15; 19, 14; 19, 13; 17, 9.

Im Magen und Darm fast ausnahmslos nur Schlamm und pflanzliche Reste; nur in einem Exemplar die wohlerhaltene Wirbelsäule eines kleinen Fisches, der wohl bereits in totem Zustande verschlungen worden war.

Eine kleine *Tilapia* von Tonga unterscheidet sich von dem kleinsten *nilotica*-Exemplar, abgesehen von der plumpen Körperform durch einen deutlichen schwarzen Fleck an der Basis der ersten weichen D.-Strahlen, sowie die breiteren, hellbraunen Querbinden, die sich nur auf die obersten Schuppenreihen erstrecken, während sie bei der kleinsten sicheren *nilotica* die ganze Seite des Körpers einnehmen. Es spricht manches dafür, daß es sich um eine kleine *T. zilli* handelt, wogegen freilich die Zahl der Dorsalstacheln (17) spricht. — Es ist übrigens nicht sehr leicht, ganz junge *nilotica* von *galilaea* zu unterscheiden; junge Exemplare letzterer Art sind mitunter noch mit dunklen Binden versehen, die allerdings auf dem metallischen Grunde nur bei bestimmter Beleuchtung deutlich sichtbar sind.

Gobiidae.

Eleotris nanus Blngr. (Textfig. 5 bis 7 p. 14 [Seite 14]).

Boulenger, 537, Fig. 39.

Mehrere Exemplare dieser seltenen Gobiiden fing ich in dem bereits mehrfach erwähnten Wassergraben bei Renk (20./IV.).

Tetrodontidae.

Tetrodon fahaka Stdchr.

Boulenger, p. 544, Taf. XCVII.

Ein großes Exemplar mit lebhaft gelbgrüner Unterseite wurde mir am 25./III. von einem Fischer bei Senaar gebracht.

Im Magen viele Schneckenschalen, sowie Schalenbruchstücke von *Aetheria*.

Fig. 5.



Fig. 6

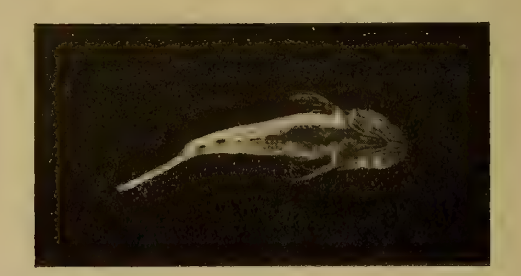


Fig. 7.



Verzeichnis der gesammelten oder beobachteten Arten nach den Fundorten.

Khartum (Fischmarkt).

Marcusenius petherici.
Hyperopisus bebe.
**Hydrocyon forskalii.*
Bagrus docmac.
**Synodontis membranaceus.*

Außerdem:
**Alestes* sp. (*dentex* oder *baremose*).
**Distichodus* sp. (*brevipinnis?*).
**Barbus* sp. (wohl sicher *bynni*).
**Labeo* sp.
**Lates niloticus.*

Kosti.

Micralestes acutidens.
Barbus neglectus.
Neobola nilotica n. sp.

Kashawal.

Barbus perince.
Haplochilus loati.

Renk.

Cromeria nilotica.
Micralestes acutidens.
Barbus pumilus.
— *stigmatopygus.*
Haplochilus marni.
— *loati.*
Haplochromis strigigena.
Eleotris nanus.

Tonga.

Polypterus bichir.
— *senegalus.*
Gymnarchus niloticus.
Alestes nursé.
Micralestes acutidens.
Nannaethiops unitaeniatus.
Barilius niloticus.
**Clarias anguillaris.*
**Synodontis nigrita.*
Haplochilus marni.
— *bifasciatus.*
Anabas petherici.
Lates niloticus.
Tilapia nilotica.
Hemichromis bimaculatus.

Senaar.

Mormyrus kannume.
**Alestes macrolepidotus.*
**Distichodus engycephalus.*
Eutropius niloticus
**Clarotes laticeps.*
Synodontis serratus.
Tilapia nilotica.
Tetrodon fahaka.

Außerdem:

**Barbus* sp. (wohl sicher *bynni*).
**Labeo* sp.

Die mit * bezeichneten nur beobachtet, kein Exemplar mitgenommen.

Anhang.

Fische aus dem Hafen von Port Sudan.

Engraulis boelama Forsk. Sehr häufig, als Köderfisch in Verwendung.

**Nannocampus* sp. (Nach Mitteilung von Herrn Prof. Max Weber nicht der indischen Art, sondern den australischen Arten nahestehend; die Gattung neu für das Rote Meer). Zwischen Korallen.

**Mugil longimanus* Gthr.
Sphyraena jello C. V.
Epinephelus argus Bl. Schn.
Lutjanus fulviflamma Forsk.
Therapon jarbua Forsk.
Gerres argyreus Forst.
Equula edentula Bl.
Pristipoma hasta Bl.
Pagrus sarba Forsk.
Dascyllus aruanus L. Häufig in Madroporenstöcken.
Upeneus vittatus Forsk.
Caranx ignobilis Forsk.

Chorinemus sp. D. 1+7+20; A. 1+2+17; Höhe 70, Länge 260, Kopflänge 55 *mm*; Hinterrand des Maxillare reicht bis unterhalb des Augenhinterrandes. Keine dunklen Flecke; Spitze der D. und C. dunkelbraun.

**Gobius echinocephalus* Rüpp. Nicht selten in Madreporenstöcken; gelbe und dunkelbraune Exemplare.

Sebastes guamensis A. G. (*Scorpaena chiliopristis* Rüpp.). In einem Madreporenstock gefunden; mit der Beschreibung der Rüppell'schen Art gut übereinstimmend.

**Pseudochromis fuscus* Müll. Tr. Zwischen Korallen.

Die Bestimmung der mit * bezeichneten Arten verdanke ich Herrn Prof. Max Weeber in Eerbeek (Holland), der mir auch sonst mit seinem Rate mehrmals in liebenswürdigster Weise beistand, wofür ihm hier herzlichst gedankt sei.

B. Amphibia.

Die Ausbeute an Amphibien war diesmal, im Vergleich zu derjenigen der im Jahre 1905 ausgeführten Reise, sehr geringfügig an Arten, was ja vorauszusehen war; ging doch unser ganzer Weg durch Kordofan durch ein zur Trockenzeit fast wasserloses Gebiet, in dem nur einzelne, spärliche und kleine Wasserlöcher und Brunnen Fröschen die Existenz ermöglichen.

Auch von diesen wenigen Arten sind drei überaus häufig und weit verbreitet. Dazu kommen drei weitere, von mir im Jahre 1905 am Ufer des Weißen und oberen Nils gefangene Arten, die als *Rana gondokorensis* und *venusta* und *Rappia papyri* beschrieben wurden; sowie *Phrynobatrachus perpalmatus*, der erst einmal im Sudan gefunden wurde. Zu tiergeographischen Erörterungen bietet dieses Material demnach keinen Anlaß. Freilich wäre es ein Irrtum, anzunehmen, daß die Armut an Vertretern dieser Klasse auch für die Regenzeit gilt; der Fauna Kordofans sind ja wenigstens noch die beiden von Steindachner aus der Ausbeute von Marno beschriebenen Arten *Rana cordofana* und *Hemisus sudanense* zuzurechnen. Es ist aber freilich das Gebiet, aus dem diese beiden Frösche stammen dürften, noch das Uferland des Weißen Nils, demnach streng genommen ebensowenig als eigentliches Kordofan zu bezeichnen, wie die Gegend von Tonga. Gar viel reicher an Arten dürfte demnach das Land auch zur Regenzeit nicht sein. Aber auch der Blaue Nil bot auffallend wenig an Amphibien, fast genau dieselben Arten wie Kordofan und trotzdem viermal soviel, als Barbour aus der Ausbeute von Phillips verzeichnet; aus den Sammlungen von Hartmann kommt nur noch eine *Cassina* (*senegalensis ?*) hiezu, so daß auch dieses Gebiet trotz ausreichender Bewässerung sich als nicht eben amphibienreich erweist. Es scheinen demnach die Amphibien vornehmlich an den an Sümpfen reichen Verlauf des Weißen Nils, sowie des Bahr-el-Ghazal und Bahr-el-Gebel gebunden zu sein und abseits davon nur noch einige Ubiquisten vorzukommen. Von den 22 bisher aus dem Sudan bekannten Arten sind 10 vom Weißen Nil, 11 vom oberen Nil (Bahr-el-Gebel), 5 (durchwegs durch A. L. Butler) vom Gazellenfluß und 2 (*Bufo*-Arten) von der Küste des Roten Meeres.

Bufonidae.

Bufo regularis Rss.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Bd. CXVI, 1807), p. 1907.

Senaar, 22. bis 26./II.
El Obeid, 10. bis 11./III.
Debri, 26./III.
Kadugli, 29./III.
Talodi, 4./IV.
Atbara, 5./IV. (2 Junge).

Mit Ausnahme der Exemplare von El Obeid sind alle nur 38 bis 46 *mm* lang. Tympanumdurchmesser der Hälfte desjenigen des Auges gleichkommend. Parotoiden so lang wie ihr Abstand vom

Nasenloch, flach, wenig hervortretend. Oberseite (namentlich Rumpfseiten und Gliedmaßen) mit dichtgedrängten, flachen oder konvexen, deutlich porösen Warzen; selten die Oberseite des Kopfes und der Rücken ganz glatt (Exemplar von Talodi). Fleckenzeichnung aus einem Paar Flecken auf der Schnauze, aus einem Paar Interorbitalflecken, miteinander einen nach vorn offenen Winkel bildend, einem Paar Schulter- und einem Paar Sacralflecken bestehend, häufig sehr undeutlich; bei den jungen Exemplaren aus dem Flußbett des Atbara sind die Flecken klein und zahlreich, wie häufig bei *B. viridis.* — Die von mir im Jahre 1905 am Weißen Nil und bei Gondokoro gesammelten Exemplare sind bedeutend größer. Häufig ist die Art in Kordofan keineswegs.

Ranidae.

Rana mascareniensis DB.

Werner, l. c., p. 1888.

Mir liegt der Nilfrosch nur in drei Exemplaren aus Senaar vor, wo er neben der folgenden Art vorkommt; ich habe selbst aber niemals daselbst ein Exemplar gefangen, sondern alle Frösche von einem Manne, der uns öfters Tiere brachte, erhalten.

Alle drei Stücke sind ♀♀. Das eine ist oberseits hellgrünlichgrau mit kleinen dunklen runden oder viereckigen Flecken. Femur mit 3, Tibia mit 4 breiten, fleckenartigen Querbinden (auf der Tibia zum Teil in 2 Flecken aufgelöst). Dorsolateralfalten deutlich, Dorsalfalten schwach. Hinterbacken gelblichweiß, braun marmoriert. Tibiotarsalgelenk reicht bis zum Nasenloch. Das zweite Exemplar ist dunkel graubraun, wenig und undeutlich gefleckt; Rückenfalten schwach, zum Teil unterbrochen; Dorsolateralfalte dick, nach hinten in einzelne Stücke aufgelöst. Sonst wie vorige. Beim dritten Stück, das dem vorigen ähnlich ist, sind die Dorsolateralfalten weißlich, die Dorsalfalten wenig hervortretend; Oberseite dunkelgrau mit kleinen Längsflecken. Hinterbeine in Zeichnung und Länge wie die beiden vorigen. — Länge 38 bis 41 *mm.*

Rana gondokorensis Wern.

Werner, l. c., p. 1891, Taf. III, Fig. 9.

Diese Art, die ich nach einem ♂ aus Gondokoro beschrieben habe, fand ich bei Senaar in fünf vollständig damit übereinstimmenden und von der vorigen Art auf dem ersten Blick unterscheidbaren ♀♀ vor. Die hell aschgraue Färbung der Oberseite, von der sich die noch hellere Färbung der Schnauze scharf absetzt, die Zeichnung der Hinterbeine, das Fehlen der Dorsolaterafalten und die auch beim ♀ auffallend langen, mit dem Tibiotorsalgelenk die Schnauzenspitze weit überragenden Hinterbeine kennzeichnen diese Art sofort und alle diese Merkmale sind bei sämtlichen Exemplaren übereinstimmend. Nur der gelbe, dunkel eingefaßte Lumbarfleck des Typ-Exemplares fehlt den Sennaarexemplaren.

Rana venusta Wern.

Werner, l. c., p., 1892, Taf. IV, Fig. 11.

Von dieser schönen Art, die ich aus dem südlichsten Sudan (Mongalla) beschrieben habe, sammelte ich zwei weitere prächtige Stücke an der Holzstation von Kosti am weißen Nil (21./IV), sowie fünf meist kleinere an einem sehr kleinen Tümpel, der von einem vom Gebel Lebu im Nubalande herabkommenden Wasseräderchen durchzogen wird. Diese, sowie die zahlreich sich vorfindenden *Phrynobatrachus,* flüchteten aus dem Wasser in Spalten zwischen den Steinen.

Die beiden ♀♀ von Kosti sind vollkommen typisch; bis auf den Umstand, daß die Hinterbeine kürzer sind und mit dem Tibiotarsalgelenk nur bis zum Nasenloch reichen. Schnauze stark über den Unterkiefer vorspringend, doppelt so lang wie der Augendurchmesser; Tympanum = $^3/_4$—1 Augendurchmesser; eine weiße Drüsenfalte von unterhalb des Auges bis zum Vorderbeinansatz. Bei den

Exemplaren von Lebu sind die feinen hellen Längslinien auf der Oberseite der Hinterbeine undeutlich oder fehlen ganz; die Hinterbeine sind bei den kleineren Exemplaren auch relativ kürzer als bei den größeren.

Diese Art hat viel Ähnlichkeit mit *R. stenocephala* Blngr., die bei Entebbe am Viktoria-Nyanza neben ihr vorkommt. Sie ist aber doch weit weniger schlank gebaut, besitzt auch eine ganz andere Zeichnung der Hinterbeine, so daß man beide doch leicht unterscheidet.

Es ist nicht ausgeschlossen, daß die *Rana gondokorensis* und *venusta* doch in den Formenkreis des *mascareniensis* gehören. Da ich aber die sudanesischen Exemplare dieser drei Arten scharf voneinander unterscheiden kann, auch dort, wo sie nebeneinander leben, so sehe ich nicht ein, weshalb ich sie vereinigen sollte und halte dies für unser Gebiet für nicht angezeigt.

Phrynobatrachus natalensis Smith.

Werner, l. c., 1901.

Dieser kleine Frosch liegt mir in zahlreichen Exemplaren vor und zwar von Senaar, sowie von drei Fundorten in Süd-Kordofan (Nubaland), nämlich von Debri, Lebu und El Egheibisch, sowie in einzelnen Stücken vom Weißen Nil. Die zu den vier Hauptfarbenvarietäten gehörigen Exemplare verteilen sich wie folgt.

	Ohne helle Rückenlinie	Mit feiner heller Rückenlinie	Mit breiten hellen Mittelstreifen	Ganze Rückenzone hell
Senaar . .	20	5	—	—
Debri . . .	30	10	3	—
Lebu . . .	5	2	1	1
El Egheibisch	45	1	1	—
	100	18	5	1

Also sehen wir wie bei den 116 Exemplaren vom Hauptstromgebiete, die ich l. c. erwähnte, daß die erste Gruppe die meisten Individuen enthält, dann zunächst die zweite, dritte und vierte. Bei dem Material vom Weißen und oberen Nil verhielten sich die Individuen der vier Gruppen in Prozenten

wie 62·1 : 26·7 : 10·3 : 0·9;

bei dem der jetzigen Reise

wie 80·7 : 14·5 : 4·0 : 0·8.

Natürlich haben diese Zahlen an sich gar nichts zu bedeuten; zehn oder zwanzig Frösche mehr gefangen, können sie wesentlich verändern, aber daß das Verhältnis der vier Gruppen in beiden Fällen doch soweit übereinstimmt, daß sie in der Individuenzahl in gleicher Weise aufeinanderfolgen und daß die Gruppe ohne Rückenlinie so stark überwiegt und diejenige mit ganz heller Rückenzone in beiden Fällen nur durch ein Individuum vertreten ist, scheint mir doch auf eine ziemlich gesetzmäßige Zahlenverteilung der vier Varietäten hinzudeuten; es möge hiebei bemerkt werden, daß die Fröschchen stets wahllos aufgegriffen wurden, also von Heraussuchen der selteneren Varietäten keine Rede war, dazu ließen die überaus flinken Tiere auch keine Zeit.

Während die wenigen Exemplare vom Weißen Nil (Renk, 20. IV; Melut, 18. IV.) vom dicht mit Wasserpflanzen besetzten Ufer des Stromes stammen, sind alle Exemplare aus dem Nubalande in der gänzlich kahlen Umgebung kleiner Tümpel oder Wasserlöcher gefangen, deren Ränder sie, in Gesellschaft der in großen Mengen das Wasser aufsuchenden wilden Bienen, dicht besetzen.

Phrynobatrachus perpalmatus Blngr.

Boulenger, Proc. Zool. Soc. London, 1898, p. 479, Taf. XXXVIII, Fig. 1.
Andersson, Res. Swed. Zool. Exp. Nr. 4, p. 11.

Diese ursprünglich vom Mweru-See beschriebene Art wurde von der Jägerskiöld'schen Expedition bei El Gerassi (50 Meilen südlich von Khartum) wieder aufgefunden. Ich kann die Richtigkeit der Identifizierung durch Andersson bestätigen, denn es gelang mir, diese allerdings recht seltene Art in drei einzelnen Exemplaren am Weißen Nil zu erbeuten, nämlich bei Tonga (10. IV,), Renk (20. IV) und Kashawal (20. IV.).

Diese Art ist leicht von *Ph. natalensis* zu unterscheiden, sowohl durch die schlankere Gestalt, als durch die größeren Schwimmhäute und die verschiedene Zeichnung. Aber auch von der typischen Form vom Mweru-See unterscheiden sie sich etwas, aber nicht so sehr, daß man an der Identität Zweifel hegen könnte. So sind die Schwimmhäute etwas kürzer und erreichen an der vierten Zehe bloß die Basis; der Interorbitalraum ist etwas breiter als ein oberes Augenlid, das Trommelfell ist vollständig verborgen und der erste Finger sehr deutlich kürzer als der zweite. Oberseite rötlichgraubraun, mit undeutlichem dunklen Interorbitalband; Lateralband nach vorn über das Auge hinaus bis zum Nasenloch fortgesetzt, nach oben nicht durch ein helles Band begrenzt, nur in der Lumbargegend ist die Oberseite über dieser sehr charakteristischen Seitenbinde aufgehellt. Eine weißliche Linie von unterhalb des Auges bis zum Vorderbeinansatz; Oberlippe dunkel, weiß punktiert. Femur oben mit zwei, Tibia mit zwei oder drei großen fleckenartigen Querbinden; Hinterbacken gelblich mit ein bis zwei dunklen Längsbinden. Unterseite bei dem Exemplare von Renk braun, mit kleinen weißen Punkten, die auf warzenartigen Höckerchen sitzen; bei dem Exemplar von Tonga Unterseite weißlich, dicht und fein braun marmoriert, namentlich Brust; bei dem Exemplar von Kashawal Kehle und Brust braun, weiß punktiert.

Es ist nicht verwunderlich, daß bei der enormen Entfernung der beiden bisher bekannten Fundorte kleine Differenzen sich zeigen; es besteht aber für mich kein Zweifel, daß es sich um dieselbe Art handelt. Eine ähnliche sprunghafte Verbreitung kennen wir auch von dem von Boulenger aus Entebbe am Victoria Nyanza beschriebenen *Bufo vittatus,* der dann von Andres bei Ramleh nächst Alexandrien wiederentdeckt wurde, sowie auch von *Bufo pentoni*, der bisher nur von Suakin und Erythraea bekannt wurde, dessen Vorkommen in Kamerun von Nieden festgestellt werden konnte. Es ist noch fraglich, ob es sich in allen diesen Fällen wirklich um ein discontinuierliches Vorkommen handelt.

Seit ich den Versuch machte, eine Bestimmungstabelle der Gattung zu geben, ist die Zahl der Arten abermals erheblich gestiegen, dabei aber *Ph. monticola* Fisch. (= *Rana delalandii* Tsch.) und *Ph. ranoides* Blngr. (= *natalensis* Smith)[1] in Wegfall gekommen; es sind demnach gegenwärtig 12 Arten bekannt, die sich wie folgt unterscheiden lassen:

1. Zehen mit ganzen oder nahezu ganzen Schwimmhäuten, die wenigstens an der 1. bis 3. und 5. Zehe bis nahe an die Spitze reichen . . . *Ph. perpalmatus* Blngr.
   Zehen mit kürzeren Schwimmhäuten 2

2. Tympanum verborgen oder undeutlich 3
   Tympanum deutlich sichtbar 7

3. Zunge ohne Papille . . . . *Ph. capensis* Blngr.
   Zunge mit Papille[2] 4

[1] Nieden, Mitt. Zool. Mus. Berlin, 7. Bd., 3. Heft, 1915, p. 355, 356.

[2] Bei *tellinii* wird das Vorhandensein der Zungenpapille zwar nicht erwähnt, aber auch nicht direkt in Abrede gestellt.

4. Kein Tarsalhöcker; Tympanum verborgen . . . . *Ph. plicatus* Cope.
   Tarsalhöcker vorhanden; Tympanum unterscheidbar 5
5. Schnauzenkante deutlich; Finger und Zehen mit kleinen Saugscheiben; Interorbitalraum breiter als ein oberes Augenlid . . . . *Ph. graueri* Nieden.
   Schnauzenkante undeutlich oder fehlend; Finger- und Zehenspitzen nicht erweitert; Interorbitalraum höchstens so breit wie ein oberes Augenlid 6
6. Tibiotarsalgelenk erreicht Schnauzenspitze; Interorbitalraum so breit wie ein oberes Augenlid . . . . *Ph. francisci* Blngr.
   Tarsometatarsalgelenk reicht bis zur Schnauzenspitze oder weit darüber hinaus; Interorbitalraum schmäler als ein oberes Augenlid . . . . . *Ph. natalensis* Smith.
7. Saugscheiben der Finger und Zehen groß; Schnauze lang, zugespitzt, mit scharfer Kante; sehr große Art . . . . *Ph. acutirostris* Nieden
   Saugscheiben klein oder fehlend 8
8. Finger und Zehen in kleine Haftscheiben erweitert 9
   Finger und Zehen nicht erweitert; innerer Metatarsalhöcker stark vorspringend, mit kompressem Rand; meist ein Tarsalhöcker . . . . . . *Ph. tellinii* Peracca.
9. Kein äußerer Metatarsalhöcker; halbe Schwimmhäute, Tibiotarsalgelenk reicht zwischen Auge und Schnauzenspitze . . . . *Ph. latirostris* Blngr.
   Äußerer Metatarsal- und meist ein Tarsalhöcker vorhanden 10
10. Keine vom Augenhinterrand schief nach einem gegen die Scapulargegend verlaufende Falte . . . . *Ph. krefftii* Blngr.
    Scapularfalte vorhanden 11
11. Drei Metatarsaltuberkel; Hinterbeine mit dunklen Längsbändern . . . *Ph. acridoides* Cope.
    Zwei Metatarsal- und ein Tarsaltuberkel; Hinterbeine deutlich quergebändert . . . . *Ph. steindachneri* Nieden.

Von diesen Arten kommen 7 im östlichen, 2 im südlichen (nur *Ph. capensis* in der Kapkolonie, eine in Natal), 5 im westlichen Afrika vor; von ihnen ist nur *Ph. natalensis* sowohl im südwestlichen (Angola) wie im südlichen (Natal) und im ganzen östlichen Afrika bis zum Weißen Nil verbreitet, während die übrigen ein mehr oder weniger beschränktes Verbreitungsgebiet haben. Es ist sehr bemerkenswert, daß keine der beiden ostsudanesischen Arten, soweit bisher bekannt, auf den Westsudan übergeht.

Rappia papyri Wern.

Werner, l. c. p. 1903, Taf. IV, Fig. 14.

Ein einziges Exemplar vom Ufer des Weißen Nils bei Renk (20. IV., leg. Ebner). Dieses dürfte der nördlichste bekannte Fundort einer *Rappia* im Sudan sein. Zuerst fand ich die Art bei Khor Attar am Weißen Nil, sowie bei Gondokoro.

C. Reptilien.

Während vor meiner ersten Arbeit über die Reptilien des angloägyptischen Sudan (im Sitz. Ber. kais. Ak. d. Wiss., Wien. Bd. CXVI. 1907 [1908]) keine zusammenfassende Darstellung der Reptilienfauna des Landes vorhanden war und eine Übersicht erst auf Grund der vorhandenen Literatur und des selbstgesammelten Materials getroffen werden mußte, kann ich mich in nachstehenden Mitteilungen auf

diese Zusammenfassung stützen, so daß die Bearbeitung des neuerdings, vorwiegend aus Kordofan und Sennaar vorliegenden Materials und die tiergeographischen Folgerungen den ausschließlichen Inhalt bilden.

Über die Reptilienfauna der Provinz Sennaar besitzen wir zahlreiche Angaben, die aber leider zu einem nicht unbeträchtlichen Teile unzuverlässig sind und (soweit es die von Barnim und Hartmann gesammelten Arten anbelangt, die zum Teil im Museum für Naturkunde in Berlin nicht mehr vorhanden sind) auch nicht mehr richtig gestellt werden können; dagegen ist über Kordofan kaum mehr bekannt, als was ich über die kleine, aber sehr interessante Sammlung A. L. Butler's aus Bara in Nordkordofan mitteilen konnte. Der größte Teil von Kordofan war bisher — nicht nur herpetologisch — eine Terra incognita.

Es ist natürlich auch keine Rede davon, daß durch unsere Expedition die Reptilien des Gebietes vollständig bekannt geworden sein sollten. Gerade in Bezug auf Schlangen ist die Ausbeute ziemlich geringfügig und da sich unter den wenigen Arten nicht weniger als zwei neue befanden, so kann man annehmen, daß in dieser Beziehung noch recht viel zu tun sein wird. Weit besser steht es mit den Eidechsen, die ja überall, wo sie vorkommen, meist in ansehnlicher Individuenanzahl auftreten, so daß die Hauptmasse des etwa ein Vierteltausend Exemplare umfassenden Materials dieser Gruppe angehört, darunter eine neue Art der für den Sudan überhaupt neuen Gattung *Ablepharus,* sowie die gleichfalls aus dem ganzen Sudan noch nicht bekannten Arten *Mabuia varia, Lygosoma sundevalli* und *Chalcides bottegi.* Wie später noch gezeigt werden wird, bilden gewisse Formen der kordofanischen Reptilfauna vollkommene Verbindungsglieder zwischen derjenigen des Westsudan (Senegambien, Togo) und derjenigen des abessynisch-somalischen Gebietes und es zeigt sich neuerdings, wie es von mir schon mehrfach, auch in Bezug auf die Insektenfamilie der Mantodeen nachgewiesen wurde, und wie auch Sternfeld in seinen neuen großen Arbeiten über die Reptilien des zentralafrikanischen Grabengebietes bestätigen konnte, daß es tiergeographisch ein West- oder Ostafrika nicht gibt und daß wir nur Steppen- und Urwaldfauna unterscheiden können. Es sind von den einigermaßen häufigeren Reptilien, die man früher für charakteristisch west- oder ostafrikanisch gehalten hat, gegenwärtig nur mehr wenige, die es noch ausschließlich geblieben sind; es besteht aber kein Zweifel, daß es nur eine Frage der Zeit ist, bis auch sie aus dem anderen Gebiete bekannt werden; denn jede neue Forschungsreise bröckelt von dieser älteren Anschauung ein Stück ab.

Zweifellos hat die Urwaldfauna an der Zusammensetzung der Reptilienfauna des Ostsudan so gut wie gar keinen Anteil. Im Westen wie im Osten des afrikanischen Kontinentes ist die typische Fauna des tropischen Regenwaldes auf diejenigen Länderstriche beschränkt, in denen höhere Gebirgsmassen sich erheben, also einerseits in Kamerun (Kamerun-Gebirge), andrerseits im abessynischen Hochland und im Verlaufe des zentralafrikanischen Grabengebietes. Aber auch hier erweist sich die weit abgehärtetere Steppenfauna als durchaus nicht aus dem Felde geschlagen und es gibt wohl keinen einzigen Teil der Urwaldzone, in dem nicht Reptilien, die ursprünglich der Steppenfauna angehören, ihr Fortkommen finden würden, während wir andrerseits keine schlagenden Beispiele kennen, daß echte Urwaldformen sich im Steppengebiete heimisch gemacht hätten. Ich habe die Steppenformen abgehärtet genannt; sie sind es sowohl gegen Temperaturschwankungen, die ganz beträchtlich sein können, sowohl im Laufe des Tages, als innerhalb des Jahres, sie sind es aber auch gegen große Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft und des Bodens, so daß sie in der Trockenzeit wie Tiere der Wüste, in der Regenzeit wie solche des tropischen Regenwaldes leben und das einzige Hindernis ihrer Verbreitung dürften größere Erhebungen sein, wie überhaupt nur wenige Reptilien Afrikas Höhen über 2000 *m* zu bewohnen scheinen, darunter verschiedene Chamäleons, namentlich *Ch. bitaeniatus* in zahlreichen Lokalrassen.

Die geringen Höhen, die wir im Ostsudan antreffen (in Kordofan wenige Erhebungen, wie z. B. Gebel Talodi, über 1000 *m,* nur sehr wenige 1500 und darüber) können zur Entstehung einer echten Gebirgsfauna natürlich keinen Anstoß geben. Wo überhaupt eine Existenzmöglichkeit für

Reptilien besteht, da gehen Steppenformen (typische Bodenrenner, wie *Acanthodactylus, Latastia* u. dgl. ausgenommen) so hoch, als sie Nahrung finden können. Als eigentlichen Bergbewohner lernte ich in Kordofan nur *Ptyodactylus hasselquisti* kennen, der in der Trockenzeit nur mit wenigen anderen Tieren vergesellschaftet erscheint (einer Schnecke *Trochonanina mozambicensis,* einem großen Skorpion aus der Gattung *Pandinus,* eines Diplopoden (Spirostreptide), einer Heuschrecke aus der Gattung *Catantops* und zwei Arten von Tagfaltern: *Charaxes etheoeles v. picta* und einer *Acraea*).

Während die moderne Systematik der Säuger und Vögel von der Aufstellung von Unterarten und Lokalrassen, die auf Größen- und Farbendifferenzen beruhen, reichlichen, mitunter allzu reichlichen Gebrauch gemacht hat, ist dies bei den Reptilien, wenigstens soweit es die altweltliche Fauna betrifft, nur sehr spärlich der Fall gewesen, sei es weil vielfach eine restlose Aufteilung in Subspecies nicht durchführbar schien oder weil man einen Zusammenhang zwischen den nach Färbungsmerkmalen aufgestellten Formen und ihrer geographischen Verbreitung nicht erkennen konnte. In dieser Beziehung ist gerade die Reptilienfauna des afrikanischen Festlandes, von der eine Anzahl von Arten nicht nur eine außerordentlich weite Verbreitung besitzen, dabei aber auch recht auffällig variieren, sehr lehrreich und R. Sternfeld hat bereits gezeigt, daß verschiedene innerafrikanische Eidechsen der Gattung *Mabuia* sich ebenso in geographische Rassen zerlegen lassen, wie dies vorher bereits von Tornier, für *Chamaeleon bitaeniatus,* von Nieden für *Ch. fischeri* geschehen war. Es ist zweifellos, daß sich, wenn einmal größeres Material vorliegt, nicht nur für verschiedene andere Eidechsenformen, als diejenigen, für die es hier versucht wurde, sondern auch für manche Schlangen eine geographische Sonderung durchführen lassen wird. Andrerseits läßt sich auch eine Anzahl von Formen, die bisher als besondere Arten betrachtet worden sind, nach den jetzt gewonnenen Erfahrungen in Formenkreise zusammenfassen, die man selbst entweder bloß als Unterarten betrachten kann (*Ptyodactylus hasselquisti* subsp. *ragazzii* mit den Lokalformen von Togo, Kordofan und der erythräischen Küstenregion), oder als Arten (*Chalcides bottegi* mit den Formen: *pulchellus* vom Französischen Sudan, *thierryi* vom Togo und *bottegi* von Kordofan und Somaliland) oder schließlich als zusammengehörige Artgruppen innerhalb einer Gattung (Reihe *Agama hartmanni-cordofanensis-sennariensis-doriae*). Die Zusammengehörigkeit dieser vorstehenden Formen erstreckt sich ausnahmslos auf den Sudan (im weiteren Sinne des Wortes); die betreffende Formengruppe hat demnach eine westöstliche Ausbreitung. Dagegen sehen wir im Allgemeinen, daß von Norden nach Süden die meisten im Sudan lebenden Arten entweder nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse unverändert bleiben (was freilich auch bei westöstlicher Verbreitung häufig der Fall ist) oder aber durch zwar verwandte, aber doch scharf geschiedene Arten ersetzt werden. Das ist auch ganz erklärlich. Denn während die Umwelt der Reptilienfauna des Sudan vom Osten nach Westen sich nur recht allmählich ändert und der allgemeine Charakter des Landes — im Norden mehr Wüste, im Süden mehr Baumsteppe — im wesentlichen gleichbleibt, ist die Südgrenze des Sudan im Osten von den äquatorialen Zwischenseengebiet durch keinen sehr großen Raum getrennt und wenn auch Norduganda sich in keiner Weise vom Süd-Sudan in seinem Landschaftscharakter unterscheidet (auch die niedrigen Hügel im Süden vom Gondokoro erinnern im Aufbau und Profil ganz an die Kordofanberge), so werfen doch die mächtigen Gebirgsmassen von Süduganda, zoologisch gesprochen, ihre Schatten nach Norden, durch das Auftreten vereinzelter Formen des Urwaldes (auch aus der Insektenwelt, z. B. *Idolum, Eurycorypha*). Daher sehen wir vom Norden nach Süden im Sudan einen schnellen und auffälligen Wechsel und eine starke Bereicherung der Reptilienfauna, von Osten nach Westen eine weit geringere. Im kleinen Maßstabe gilt dies auch für Kordofan, das ja auch eine nordsüdliche Ausbreitung durch sehr verschiedenartige Gebiete besitzt, wahrscheinlich aber nicht für die Gazellenflußprovinz, deren biologische Verhältnisse, soweit mir bekannt ist, in gleicher Richtung im wesentlichen gleich bleiben.

Eine nicht unbeträchtliche Zahl von Arten erreicht im Ostsudan die nördliche oder südliche Grenze ihres Verbreitungsgebietes. Es seien hier nur einige aufgeführt, bei denen dies am deutlichsten ersichtlich ist. Bei mehreren äthiopischen Arten kann man nicht mit einiger Sicherheit sagen, ob sie

im Ost- oder im Westsudan weiter nach Norden gehen und ebenso ist es auch bei einigen nicht sicher, ob ihre Nordgrenze im Sudan oder in Abessynien weiter nach Norden vorgeschoben ist. Bei seltenen, nur in wenigen oder in einem einzigen Exemplare bekannten Arten ist natürlich eine solche Grenzbestimmung von sehr illusorischem Werte. Da namentlich viele ältere Angaben von solcher Ungenauigkeit sind, daß die Bestimmung des Fundortes nicht einmal auf einen Breitegrad genau erfolgen kann, so ist eine sichere Grenzbestimmung größtenteils nicht möglich, aber auch einstweilen nicht dringlich.

Ihre Nordgrenze erreichen im Ostsudan die folgenden Arten:

Cyclanorbis oligotylus (9.—10.°)
Uromastix ocellatus (22.°)
Agama hartmanni (21.°)
Mabuia brevicollis (16.—18.°)
Chamaeleon laevigatus (14.—15.°)
Boodon lineatus (14.°)
Simocephalus capensis (butleri) (6° n. Br.)
Chlorophis emini (9.—10.°)
Grayia tholloni (9.—10.°)
Rhamphiophis rubropunctatus (5.—9.°)
Amplorhinus nototaenia (5.—9.°)
Psammophis biseriatus (15.—16.°)
„ *punctulatus* (14.°)
Chilorhinophis butleri (5.—6.°)
Aparallactus concolor (5.—6.°)
Causus resimus (13.—14.°)
Atractaspis microlepidota (9.—10.°)

Die Südgrenze ihres Verbreitungsgebietes erreichen im Sudan die nachstehenden Arten:

Tropiocolotes steudneri (14.—16.°)
Agama sinaita (19.—20.°)
Uromastix acanthinurus (18.—19.°)
Scincus officinalis (13.—14.°)
Scincopus fasciatus (13.—14.°)
Eryx jaculus (18.°)
Zamenis diadema (15.—16.°)
Cerastes cornutus (14.—15.°).

Die Zusammensetzung der Reptilienfauna von Kordofan.

So wie der Sudan im Großen, so setzt sich auch Kordofan aus einem nördlichen paläarktischen und einem südlichen äthiopischen Teil zusammen. Wo ungefähr die Grenze ist, habe ich bereits angedeutet; zwischen Nubbaka und Sungikai in Süd-Kordofan. Am besten zeigt sich dies, wenn man die Reptilien der einzelnen von uns und anderen besuchten Orte von Norden nach Süden zusammenstellt. Nördlich vom Gebel Araschkol kenne ich keinen Fundort, auch nicht aus der Literatur.

14° n. Br. Gebel Araschkol: **Pristurus flavipunctatus*
Tarentola annularis.

* Arabische Faunenelemente.

13° 50′ Mazrub: *Echis carinatus* (Butler).

13° 40′ Bara: *Pristurus flavipunctatus.*
Tarentola annularis.
Acanthodactylus boskianus.
Mabuia quinquetaeniata.
* † *Latastia longicaudata* (Butler).
Scincus officinalis (Butler).
Scincopus fasciatus (Butler).
† *Eryx muelleri* (Butler).
Chamaeleon basiliscus.
** *Coelopeltis cordofanensis.*

13° 20′ Taragaia: *Mabuia quinquetaeniata.*
Chalcides ocellatus.
Glauconia Cairi.

13° 6′ El Obeid: *Pelomedusa galeata.*
Hemidactylus brookii.
Tarentola annularis.
†† *Agama colonorum.*
Mabuia quinquetaeniata.
Chamaeleon basiliscus.

13° Umm Ramad: *Acanthodactylus boskianus.*
Chalcides ocellatus.

12° 55′ Fertangul: *Echis carinatus* (Wilson).

12° 55′: *Tarentola annularis.*
12° 45′: *Pristurus flavipunctatus.*
Agama colonorum.

12° 21′ Nubbaka: *Agama colonorum.*
Mabuia quinquetaeniata.

Agama colonorum.
Mabuia quinquetaeniata.
†† *Mabuia striata.*

12° 12′ 30″ Sungikai: *Agama colonorum.*
†† *Agama doriae cordofanensis.*
Varanus ocellatus.
Mabuia quinquetaeniata.
†† *Mabuia perroteti.*

12° 1′ Dilling: † *Ptyodactylus hasselquisti ragazzii.*
Agama colonorum.
Mabuia quinquetaeniata.
Leptodira hotamboeia.

---

* Arabische Faunenelemente. † Transsudanische Arten.
** Spezifisch kordofanische Arten. †† Arten, die in der angegebenen Breite ihre Nordgrenze erreichen.

11° 57′ 30″ Ras-el-Fil: *Agama doriae cordofanensis.*

11° 49′ Gulfan: *Mabuia quinquetaeniata.*
Lygosoma sundevalli.

Hemidactylus brookii.
Agama colonorum.
Mabuia quinquetaeniata.
„ *perroteti.*

11° 18′ Debri: † *Ptyodactylus hasselquisti ragazzi.*
Hemidactylus brookii.
Agama doriae cordofanensis.
Mabuia quinquetaeniata.
Leptodira hotamboeia.
Agama doriae cordofanensis.
Hemidactylus brookii.

11° Kadugli: *Agama colonorum.*
„ *doriae cordofanensis.*
Mabuia quinquetaeniata.
„ *perroteti.*
Lygosoma sundevalli.
Psammophis subtaeniatus sudanensis.
** *Elapechis laticinctus.*
† *Python regius* (Hendon).
Booden lineatus (Hendon).
Tarbophis obtusus nubamontana (Hendon).
Leptodira hotamboeia (Hendon).
Psammophis sibilans irregularis (Hendon).
„ *subtaeniatus sudanensis* (Hendon).

10° 57′ 30″ Khor El Affin: *Hemidactylus brookii.*
Mabuia perrotati.

Weg Homra-Gebel Moro: *Agama doriae cordofanensis.*

10° 56′ Gebel Lebu (Moro): *Mabuia quinquetaeniata.*

Weg Kororak-Talodi: *Mabuia quinquetaeniata.*

10° 48′ Talodi: † *Cinixys belliana.*
Pristurus flavipunctatus.
Hemidactylus brookii.
Agama colonorum.
„ *doriae cordofanensis*
Varanus niloticus.
Mabuia quinquetaeniata.
„ *perroteti.*
„ *striata.*
„ *varia.*
** *Ablepharus wilsoni.*

---

* Arabische Faunenelemente. † Transsudanische Arten.
** Spezifisch kordofanische Arten. †† Arten, die in der angegebenen Breite ihre Nordgrenze erreichen.

10° 46′ Gebel Hagar en Naz: *Agama doriae cordofanensis.*
Mabuia quinquetaeniata.

10° 37′ El Egheibisch: *Agama colonorum.*
Mabuia quinquetaeniata.
„ *perroteti.*
„ *striata.*

10° 8′ Tanguru: *Agama colonorum.*
Mabuia quinquetaeniata.
† *Chalcides bottegi.*

9° 55′ Bir Joghan: ? *Pristurus flavipunctatus.*
Mabuia quinquetaeniata.
„ *perroteti.*

9° 41′ Tonga: *Hemidactylus brookii.*
Mabuia striata.
Python sebae.
Psammophis sibilans irregularis.
Bitis arietans.
Sternothaerus adansoni.
Cyclanorbis.
Crocodilus niloticus.

† Transsudanische Arten.

Die Reptilienfauna von Kordofan (im Norden begrenzt von 14° n. Br., im Süden und Osten vom Weißen Nil — eine Grenze nach Westen anzugeben, erübrigt sich deswegen, weil östlich von unserer Reiseroute überhaupt fast keine einzige Art bekannt ist) setzt sich demnach aus folgenden Arten zusammen:

1. *Testudo sulcata* »Kordofan«. (Flower.) Keine genauen Fundortsangaben bekannt.
2. *Cinixys belliana.* Talodi.
3. *Sternothaerus adansoni.* Tonga (Khor Lolle).
4. *Pelomedusa galeata* Schpff. El Obeid.
5. *Crocodilus niloticus* Laur. Tonga (Khor Lolle).[1]
6. *Pristurus flavipunctatus* Rüpp. Bara bis Bir Joghan; Gebel Araschkol.
7. *Ptyodactilus hasselquisti* Donnd. subsp. *ragazzii* Anders. Gebel Dilling und Debri.
8. *Hemidactylus brookii* Gray. El Obeid bis Tonga.
9. *Tarentola annularis* Geoffr. Bara bis südlich von Umm Ramad; Gebel Araschkol.
10. *Agama doriae cordofanensis* Wern. Sungikai bis Talodi.
11. *Agama colonorum* Daud. El Obeid bis Tanguru.
12. *Varanus ocellatus* Rüpp. Sungikai.
13. *Varanus niloticus* L. Talodi.
14. *Acanthodactylus boskianus* Daud. Bara, Umm Ramad.
15. *Latastia longicaudata* Rss. Bara (Butler).
16. *Mabuia quinquetaeniata* Licht. Bara bis Bir Joghan.
17. *Mabuia perroteti* DB. Sungikai bei Bir Joghan.

---

[1] Ein großes Krokodil im Khor Lolle soll vor einigen Jahren eine Kuh getötet und verzehrt haben. Da oben der Weiße Nil als Südgrenze für Kordofan angegeben ist, habe ich die vom Khor Lolle nicht bekannte *Cyclanorbis* hier nicht aufgeführt.

18. *Mabuia striata* Ptrs. Nubbaka bis Tonga.
19. *Mabuia varia* Ptrs. Talodi.
20. *Lygosoma sundevalli* Smith. Gulfan, Kadugli.
21. *Ablepharus wilsoni* Wern. Talodi.
22. *Scincus officinalis* Laur. Bara (Butler).
23. *Scincopus fasciatus* Ptrs. Bara (Butler).
24. *Chalcides ocellatus* Forsk. Taragaia, Umm Ramad.
25. *Chalcides bottegi* Blngr. Tanguru.
26. *Chamaeleon basiliscus* Cope. Bara, El Obeid.
27. *Glauconia cairi* DB. Taragaia.
28. *Python sebae* Gmel. Tonga (Khor Lolie).
29. *Python regius* Shaw. Kadugli (Hendon).
30. *Eryx muelleri* Blngr. Bara (Butler).
31. *Boodon lineatus* DB. Kadugli (Hendon).
32. *Tarbophis obtusus* Rss. v. *nubamontana* Wern. (Hendon).
33. *Leptodira hotamboeia* Laur. Dilling, Debri; Kadugli (Hendon).
34. *Psammophis sibilans* v. *irregularis* Fisch. Debri; Kadugli (Hendon).
35. *Psammophis subtaeniatus* Ptrs. v. *sudanensis* Wern. Kadugli.
36. *Coelopeltis kordofanensis* Wern. Bara.
37. *Naia haie* L. Dilling.
38. *Elapechis laticinctus* Wern. Kadugli.
39. *Bitis arietans* Merr. Tonga.
40. *Echis carinatus* Merr. Mazrub (Butler) Fertangul (Wilson).

Wenn wir versuchen, für die übrigen Provinzen des Sudan die Reptilienfauna zusammenzustellen so wird uns dies in sehr verschiedenem Maße gelingen. Gut erforscht ist in erster Linie die »Red-Sea-Province« durch Anderson; ebenso auch Wadi Halfa, so ziemlich auch Dongola; sehr wenig wissen wir vom Atbara und der Kassala-Provinz, wenig auch vom Sobat; auch der Blaue Nil ist einer Nachprüfung der herpetologischen Funde Hartmann's, die teils in Bezug auf die Artangaben, teils hinsichtlich der Fundorte unsicher sind, recht bedürftig. Von der Bahr-el-Ghazal-Provinz, vom Weißen Nil und Bahr-el-Gebel haben wir zwar recht viele, in Anbetracht des wahrscheinlich erheblich größeren Artreichtums (namentlich an Schlangen) noch lange nicht genügende Daten. Aus dem, was wir bisher wissen, können wir entnehmen, daß die Vermutung, es sei in denjenigen Gebieten, welche von Norden nach Süden von größeren Flüssen durchzogen werden, die Grenze des äthiopischen Faunengebietes weiter nach Norden gerückt als in wasserarmen, steppenartigen Landstrichen (eine Vermutung, welche angesichts der wichtigen Rolle, die das Niltal für die südnördliche Verbreitung vieler Wirbeltiere und Insekten in Ägypten spielt, nicht unbegründet erscheint) für den Sudan nicht durchwegs zutrifft. Auch so häufige äthiopische Arten, wie *Agama colonorum*, gehen in Kordofan weiter nach Norden als am Weißen Nil.

Der Anteil echt äthiopischer (abessynisch-somalischer) Formen an der Reptilienfauna des Sudan ist in Anbetracht des Umstandes, daß beide Länder eine lange Grenze miteinander haben, sehr geringfügig. Eigentlich können als solche östliche Formen, die dabei nicht auch nach Ägypten übergreifen (wie *Tarentola annularis, Glauconia Cairi* u. a.) nur *Pristurus flavipunctatus, Hemidactylus tropidolepis, Agama spinosa, Uromastix ocellatus (Varanus ocellatus), Eremias mucronata, Mabuia brevi-*

collis, Lygosoma laeviceps, Eryx thebaicus, Psammophis biseriatus, punctulatus, Aparallactus concolor. in Betracht.

Dagegen haben sich außer den bereits als transsudanesisch bezeichneten Formen, die vom Indischen zum Atlantischen Ozean oder wenigstens weit in den französischen oder deutschen Sudan verbreitet sind, wie zum Beispiel *Tarentola ephippiata, Latastia longicaudata, Python regius, Eryx muelleri* auch *Ptyodactylus hasselquisti ragazzii* und *Chalcides bottegi* als solche erwiesen.

Es möge bei dieser Gelegenheit übrigens auf die nicht genug beachtete Tatsache hingewiesen werden, daß Regionen oder Subregionen ganz anders betrachtet werden, je nachdem man die Verbreitung einer oder der anderen Tierkategorie ins Auge faßt. Für die Reptilien zum Beispiel würde wohl niemand in Versuchung kommen, die Sahara als etwas anderes als einen Teil der paläarktischen Region aufzufassen, da die in ihr vorkommenden Arten fast ausnahmslos der Mediterranprovinz dieser Region angehören; für andere Tiergruppen scheint diese Auffassung zum mindesten zweifelhaft und Geyr v. Schweppenburg hat in seiner Analyse der Ornis des Tuaregberglandes nachgewiesen, daß von den 23 dort brütenden Vogelarten nicht weniger als 13 zur äthiopischen, dagegen nur 5 zur paläarktischen Fauna gehören, während 4 Arten bezüglich ihrer Zugehörigkeit zweifelhaft sind und eine Art kosmopolitisch ist. Auch die Orthopterenfauna der Sahara weist einige auffällige Sudanformen auf, wie *Oxythespis, Idolomorpha* u. a.

Betrachten wir nun aber die Reptilienfauna des Landstriches, der sich von den Bergen des saharischen Atlas im Süden von Marokko über die isolierten Bergländer der Zentralsahara bis an den Weißen Nil erstreckt und der in seinem ganzen Verlaufe geologisch und physiognomisch sehr übereinstimmend ist, so sehen wir, daß einige Arten, ohne an der nordafrikanischen Küste sich auszubreiten, über die Saharaberge entweder unverändert nach Osten sich erstrecken, oder auf diesem Wege (höchstwahrscheinlich ist aber der Weg umgekehrt gewesen) in andere Rassen oder Arten umgebildet wurden.

Diese Arten sind:

1. *Ptyodactylus hasselquisti* Donnd. Von den Saharabergen von Ain Sefra, Figig und Biskra bis Kordofan. Fehlt gänzlich an der nordafrikanischen Mittelmeerküste. In der algerischen Sahara als subsp. *oudryi* Lat., in Südkordofan (Nubaland: Dilling- und Debriberge) als subsp. *ragazzii* Anders. Aus dem Zwischengebiete noch unbekannt.

2. *Agama bibroni A.* Dum. und *colonorum* Daud. Zwei einander sehr nahestehende und in der Färbung des ♂ sehr ähnliche Arten, die eine vorwiegend im westsaharischen Atlas, die andere von Kordofan nach Süden und Osten sich verbreitend.

3. *Bitis arietaus Merr.* Südmarokko, Kordofan bis zum Weißen Nil.[1]

Eine weitere kleine Zahl von Arten biegt anscheinend schon von Dongola an gegen die Saharaberge ab; hieher gehören zum Beispiel *Uromastix acanthinurus* Bell und *Glauconia macrorhynchus* Jan. Daß für die bei weitem meisten Arten ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen in den algerischen Saharabergen und im Sudan noch nicht bekannt ist, ist durch die fast völlige Unerforschtheit des größten Teiles des Zwischengebietes erklärlich. Wir haben nur eine einzige Arbeit über die Reptilien der Zentralsahara (von Hartert, in Novitates Zoologicae, Vol. XX, 1913) und wissen nichts über die Reptilien von Tibesti und Darfur.

Es gibt also viererlei Zusammenhänge des Sudan mit dem Westen des afrikanischen Kontinentes. 1. Über Dongola und Nord-Kordofan quer durch die Sahara, zum Teil bis zum Atlantischen Ozean; enthält die echten Wüstenformen des Sudan (*Stenodactylus elegans, Varanus griseus, Acanthodactylus*

---

[1] In diese Gruppe gehören von Säugetieren auch Mähnenschaf und Gepard, auch ein Klippdachs ist von Geyr v. Schweppenburg in den Tuaregbergen beobachtet worden. (Journal Ornithol. Juliheft 1917.)

scutellatus, boskianus (?), Eremias guttulata, Scincus officinalis, Scincopus fasciatus, Chalcides ocellatus, Eryx jaculus, Zamenis diadema, Lytorhynchus diadema, Coelopeltis moilensis, Psammophis schokari, Cerastes cornutus, Echis carinatus. 2. Die Verbindung mit den Bergen der Westsahara (s. S. 464). 3. Die Querverbindung mit dem Westsudan (durch *Hemidactylus brookii, Tarentola ephippiata, Lygodactylus picturatus gutturalis, Agama colonorum, Varanus ocellatus* (im Westen durch den sehr nahe verwandten *exanthematicus* vertreten), (u. *niloticus), Latastia longicaudata, Mabuia maculilabris, perroteti (quinquetaeniata), Chamaeleon gracilis (Typhlops punctatus), Python regius* (und *Sebae) Eryx muelleri (Tropidonotus olivaceus, Boodon lineatus, Chlorophis irregularis) Chl. emini, (Philothamnus semivariegatus, Scaphiophis albopunctatus, Dasypeltis scabra, Leptodira hotamboeia) Dispholidus typus, Dromophis lineatus, Psammophis sibilans irregularis, Naia nigricollis, Bitis arietans.* 4. Eine Querverbindung durch das Congosystem: *Gerrhosaurus flavigularis, Causus resimus,* sowie wahrscheinlich auch noch eine oder die andere der vorher in Klammern angeführten Schlangenarten. Alle diese Verbindungswege sind Abwanderungsstraßen von Ost nach West. — Für die Zuwanderung aus dem Süden kommt in erster Linie das ostafrikanische Grabengebiet in Betracht, es gibt wohl kaum irgend eine Reptilienart des Sudan, die aus dem Äquatorialgebiet stammt und nicht auf diesem Wege den Sudan erreicht haben könnte. Dagegen sind einige paläarktische Arten auf demselben Wege nach dem Süden abgewandert, nämlich *Tarentola ephippiata, Eremias mucronata, Acanthodactylus scutellatus* und *Chamaeleon basiliscus* und zwar wahrscheinlich an der Küste des Roten Meeres entlang.

Dagegen gibt es eine Anzahl von Arten, die sicherlich asiatischen Ursprungs sind und noch vor dem Einbruch des Roten Meeres, aus Arabien entweder in mehr oder weniger breiter Front ganz Nordafrika erreicht haben *(Stenodactylus elegans, Ptyodactylus hasselquisti, Agama sinaita, Varanus griseus, Acanthodactylus boskianus, Eremias guttulata, Tarentola annularis, Chalcides ocellatus, Eryx jaculus, Zamenis diadema, Lytorhynchus diadema, Tarbophis obtusus, Coelopeltis moilensis, Psammophis schokari, Cerastes cornutus* und *Echis carinatus)* oder nur den Sudan, Abessynien und Somaliland *(Pristurus flavipunctatus, Latastia longicaudata).* Von den asiatischen Arten sind einige sogar anscheinend über Arabien aus Mittelasien gekommen, wie *Varanus griseus, Coelopeltis moilensis, Psammophis schokari* und *Echis carinatus.* Paläarktischer Abstammung sind ja auch noch die in Ostafrika vertretenen Gattungen *Lacerta, Algiroides, Vipera* mit einer höchst merkwürdigen, vollkommen vom Hauptverbreitungsgebiet isolierten Vorkommen im ostafrikanischen Grabengebiet; ferner *Uromastix* und *Aporoscelis* und schließlich ist auch das Verbreitungszentrum von *Stenodactylus* und *Ptyodactylus* eher in Arabien gelegen als auf afrikanischem Boden.

Durch den Umstand, daß die Hauptmasse des afrikanischen Festlandes so ungeheure Zeiträume hindurch sich unverändert über dem Spiegel des Ozeans erhalten hat, ist es sehr schwer, über den Zeitpunkt der Einwanderung der einzelnen Elemente der Fauna des Sudan eine auch nur einigermaßen genaue Vorstellung zu erhalten. Jedenfalls war erst im Oligocän Arabien mit dem Nordosten Afrikas in breiter Verbindung und von da an stand der Einwanderung paläarktischer, mediterraner wie mittelasiatischer Elemente nichts im Wege. Dann breiteten sich aber auch anderseits die wahrscheinlich im äthiopischen Gebiete entstandenen Gattungen *Dasypeltis* und *Atractaspis* nach Arabien *Micrelaps* noch weiter, bis Palästina aus.

Es dürfte wohl keinem Zweifel unterliegen, daß die Besiedlung des äthiopischen Kontinents vom Nordosten her und nur in verschwindend geringem Ausmaße über Madagaskar aus Indoaustralien erfolgt ist. Schon die reiche Entfaltung gewisser östlicher Gattungen in Nordostafrika und ihre Verarmung gegen Westen und zum Teil gegen Süden spricht für ein Einwanderungszentrum im Nordosten *(Hemidactylus, Agama, Latastia, Eremias, Zamenis, Psammophis).* Da die Hauptmasse der etwa 30 in Westafrika eigentümlichen Gattungen aus Bewohnern des tropischen Urwaldes (Kamerungebirge) oder der Wüsten von Angola und Deutsch-Südwestafrika besteht, während die Steppenformen in weitgehendem Maße mit

denen des Ostens identisch sind, ja auch die Arten noch zum großen Teile übereinstimmen, die anderseits etwa ebenfalls 30 spezifischen Ostafrikaner ebenso größtenteils Formen der Savanne oder offenen Grassteppe sind, so ist auch hier wieder die Verschiedenheit nicht rein geographisch oder geologisch, sondern in erster Linie auf klimatische und Vegetationsverhältnisse zurückzuführen. Kamerun und Angola wären in diesem Sinne als die wichtigsten Endstationen auf dem Wege der ostafrikanischen Reptilienfauna nach Westen anzusehen; die erstere auf dem Wege durch das zentralafrikanische Urwaldgebiet, die andere aber auf der bedeutend längeren Strecke über das Kap und Deutsch-Südwestafrika, zum Teil über Transvaal-Kalahari erreicht.

Beziehungen zur Fauna der neotropischen Region, wie sie die Fauna des Westens noch in der Identität einiger Gattungen *(Amphisbaena, Helicops, Apostolepis, Leptodira)* erkennen läßt, sind in Ostafrika bereits stark reduziert, da von diesen vier Gattungen nur mehr *Amphisbaena* durch eine, und *Leptodira*, durch mehrere Arten vertreten, sich erhalten haben: Die Übereinstimmung der Gattungen *Crocodilus, Testudo, Podocnemis, Hemidactylus, Gonatodes* im neotropischen, äthiopischen und orientalischem Gebiete geht, zum Teil auf den alten Südkontinent zurück, ebenso das Vorkommen von *Phyllodactylus* in der neotropischen, äthiopischen und australischen, *Diplodactylus* und *Oedura* in den beiden letztgenannten Regionen. Schließlich möge auch noch auf das Vorkommen der zentralasiatischen Gattung *Scapteira* in Süd- und Südwestafrika hingewiesen werden, wo also die Unterbrechung des Zusammenhanges der Verbreitungsgebiete noch größer ist, als bei *Lacerta, Algiroides* und *Vipera.*[1] Es ist nun freilich möglich, daß sich bei genauerer anatomischer Untersuchung herausstellen könnte, daß die südafrikanische *Scapteira* von der mittelasiatischen doch generisch verschieden ist; so hat ja auch v. Méhely die Verschiedenheit der anatolischen *Latastia cappadocica* von den afrikanischen Formen nachgewiesen und erstere unter dem neuen Gattungsnamen *Apathya* abgetrennt; und auch bei der madagassischen Vertreterin der neotropischen Gattung *Corallus* hat F. Beddard genügende anatomische Verschiedenheiten aufgefunden.

Zur Übersicht über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse über die Verbreitung der Reptilien in den einzelnen Provinzen des Sudan möge nachstehende Tabelle dienen, in der in den Rubriken die Namen derjenigen Autoren oder Sammler, die als Gewährsmänner für die betreffenden Angaben in Betracht kommen, abgekürzt angegeben sind.

Art	Wadi Halfa	Rot. Meer-Provinz	Dongola	Khartum	Kassala-Provinz	Blau. Nil-Provinz	Weiss. Nil-Provinz	Kordofan	Nuba-Berg-Provinz	Bahr-el-Ghasal-Provinz	Ob. Nil (Bahr-el-Gebel) Provinz	(Sobat)
Testudo sulcata	—	—	*F.	—	—	—	—	*F.	—	—	—	—
„ *pardalis*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*W.[2]	*W.	—
Cinixys belliana	—	—	—	(*?) S.	—	—	—	—	*Wi.	—	—	—
Pelomedusa galeata	—	*B.	—	—	—	—	*B.	*W.	—	—	—	—
Sternothaerus adansoni	—	—	—	—	—	—	*W.F.	—	(*) W.	*F.	*W.F.	—
Trionyx triunguis	—	—	—	*F.	—	*F.	*W.	—	—	—	—	—
Cyclanorbis senegalensis	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—	—	—
Cyclanorbis oligotylus	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—	*W.	*Wn.
Crocodilus niloticus	*A.	—	*J.	*J.	—	*W. F.	*W. J. F.	—	(*) W,	*F.	*W. F.	—

[1] Ähnlich isoliert sind von Amphibien die Gattung *Hyla (wachei* Nieden) und von Fischen *Nemachilus (abyssinicus* Gthr.).

[2] Ich sah einen Panzer dieser Art, den ein sudanesischer Soldat aus dem Bahr-el-Ghazal-Gebiet mitgebracht hatte.

Art	Wadi Halfa	Rot. Meer-Provinz	Dongola	Khartum	Kassala-Provinz	Blau. Nil-Provinz	Weiss. Nil-Provinz	Kordofan	Nuba-Berg-Provinz	Bahr-el-Ghasal-Provinz	Ob. Nil (Bahr-el-Gebel) Provinz	(Sobat)
Stenodactylus elegans	*A.	*A.	*As. H.	—	—	—	(*K.)	—	—	—	—	—
Tropiocolotes steudneri	—	*St.	—	—	—	*?H.	—	—	—	—	—	—
Pristurus flavipunctatus	—	—	—	—	—	—	—	*W.	*W.	—	—	—
Ptyodactylus hasselquisti	*A.F.	*B.	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—
Hemidactylus turcicus	*A.	*A. St.	—	—	—	*?H.	*?As.	—	—	—	—	—
Hemidactylus flaviviridis	—	*A.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hemidactylus floweri (tropidolepis) . .	—	—	—	—	—	*F.	—	—	—	—	—	—
Hemidactylus brookii	—	—	—	—	—	*W.	*W.F.K.	*W.	*W.	—	*W.	—
Tarentola annularis	*A.	*A.	—	*K.	—	*H.	(*) W.	*W.	—	—	—	—
„ *ephippiata*	—	*A.	—	As.W.F.	—	Br.	K.	—	—	—	—	—
Lygodactylus picturatus	—	—	—	—	—	*Br. W.	*K. W.	—	—	*B.	*W.	—
Agama sinaita . .	—	*W.	*H. A.	—	—	—	—	—	—	—		—
„ *pallida* . .	—	—	*H.	—	—	*?Ni.	—	—	—	—	—	—
„ *spinosa* . .	—	*A.	—	—	—	*?Br.	—	—	—	—	—	
„ *hartmann* .	—	—	*H.	—	—	—	*Wn.	—	—	—	*? Blngr.	—
„ *colonorum* .	—	—	—	—	—	*?H.	—	*W.	*W.	*Wn. B. Hg.	*W.	*N.
„ *doriae sennariensis*	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—	—	—	—
Agama doriae kordofanensis	—	—	—	—	—	—	—	*W.	*W.	—	—	—
Uromastix ocellatus .	*A.	*A.	*B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
„ *acanthinurus*	*L.	—	*R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Varanus griseus . .	*W.	*A. W.	—	—	—	*H.	—	—	—	—		—
„ *ocellatus* .	—	—	—	—	—	*G. H.	*W. F.	*W. R.	—	—	*F.	—
„ *niloticus* .	—	—	—	*As.	—	*H. F.	*F. W.	—	*W.	*F.	*F.	—
Latastia longicaudata	—	*A. B.	—	—	—	*Br.	—	*B.	—	—	—	—
Acanthodactylus boskianus	*Bck.	*A.	—	—	—	—	(*) K.	*W.	—	—	—	—
Acanthodactylus scutellatus	*A.	—	*F.	—	—	*H.	—	—	—	—	—	—
Eremias spekii . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(*) W.	—
„ *mucronata*	—	*A. W.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
„ *guttulata* .	—	*A. St. W.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gerrhosaurus flavigularis	—	—	—	—	—	*H.	—	—	—	—	—	—
Mabuia maculilabris	—	—	—	—	—	—	*?W.	—	—	—	*W.	—
„ *brevicollis* .	—	—	—	—	*B.	—	—	—	—	—		—
„ *wingatii* . .	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—	—	—
„ *perroteti* . .	—	—	—	—	—	—	—	*W.	*W.	—	*W.	—
„ *quinquetaeniata*	*A.	*A.	*F.	*As. K. W.	—	*Br. W.	—	*W.	*W.	*Wn.	*W.	*N.

Art	Wadi Halfa	Rot. Meer-Provinz	Dongola	Khartum	Kassala-Provinz	Blau. Nil-Provinz	Weiss. Nil-Provinz	Kordofan	Nuba-Berg-Provinz	Bahr-el-Ghasal-Provinz	Ob. Nil (Bahr-el-Gebel) Provinz	(Sobat)
Mabuia striata . .	—	—	—	—	—	—	*K. F. W.	*W.	*W.	—	*W.	—
„ *varia* . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	*W.		—	—
Lygosoma sundevalli	—	—	—	—	—	*W.	—	—	*W.	—	—	—
„ *laeviceps*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*B.	—	—
Ablepharus wilsoni .	—	—	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—
Scincus officinalis .	—	—	—	—	—	—	—	*B.	—	—	—	—
Scincopus fasciatus .	—	*A.	—	*Str.	—	—	—	*B.	—	—	—	—
Chalcides ocellatus .	*A.	*A.	—	*B.	*B.	*Br.	—	*W.	—	—	—	—
„ *bottegi* . .	—	—	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—
„ *delislei* .	—	*A.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Chamaeleon basiliscus	*A.	*A.	—	*B.	—	*Br.	*B. K.	*W.	—	—	—	—
„ *gracilis*	—	—	—	—	—	*Gn.	—	—	—	*Wn.	(*) W.	—
„ *laevigatus*	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—	* W.	*W.
Typhlops punctatus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(*) E.	—
„ *schlegelii* .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(*) E. W.	—
Glauconia cairi . .	—	*A.	—	*K. B.	—	*F.	*F.	*W.	—	—	—	—
„ *macrorhynchus*	—	—	*? In.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Glauconia dissimilis	—	—	—	—	—	—	*Bc.	—	—	—	—	—
Python Sebae . . .	—	—	—	—	—	—	*W.	—	(*) W.	—	*W.	—
„ *regius* . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	*Hd.	*B.	—	—
Eryx thebaicus . .	—	*A.	—	*B.	—	*? Jn.	—	—	—	*B.	—	—
„ *muelleri* . . .	—	—	—	—	—	*M.	—	*B.	—	—	—	—
„ *jaculus* . . .	—	—	*G.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tropidonotus olivaceus	—	—	—	—	—	—	*K.	—	—	*Wn.	*F.	—
Boodon lineatus . .	—	—	—	—	—	—	*G. W.	—	*Hd.	—	*E. W.	*G.
Simocephalus butleri (capensis) . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*B.	—	—
Zamenis florulentus	*A.	*A.	—	*W.	—	*A. Br. F.	—	—	—	—	—	—
„ *diadema* .	—	*A.	*G.	*F.	—	—	—	—	—	—	—	—
Lytorhynchus diadema	—	—	—	—	—	*H.	—	—	—	—	—	—
Chlorophis emini . .	—	—	—	(*?) As.	—	—	*Wn.	—	—	—	*F.	—
„ *irregularis*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*W.	—
Philothamnus semivariegatus . . .	—	—	—	(*?) As.	—	—	—	—	—	*B.	(*) W.	—
Scaphiophis albopunctatus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*	—
Grayia tholloni . .	—	—	—	—	—	—	*Wn.	—	—	—	—	—
Dasypeltis scabra .	—	—	—	—	—	*H.	—	—	—	—	—	—
Tarbophis obtusus .	—	—	—	*W.	—	*H.	—	—	*Hd.	—	—	—
Leptodira hotamboeia	—	—	—	—	—	*? H.	—	—	*W.	—	(*) W.	*? G.
„ *attarensis*	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—	—	—

Art	Wadi Halfa	Rot. Meer-Provinz	Dongola	Khartum	Kassala-Provinz	Blau. Nil-Provinz	Weiss. Nil-Provinz	Kordofan	Nuba-Berg-Provinz	Bahr-el-Ghazal-Provinz	Ob. Nil- (Bahr-el-Gebel-) Provinz	(Sobat)
Coelopellis moilensis	—	*A.	*G.	—	—	*H.	—	—	—	—	—	—
" *kordofanensis*	—	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—	—
Rhamphiophis rubropuntatus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*B.	(*) W.	—
Dromophis lineatus .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*E.	
Amplorhinus nototaenia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*B.	—	—
Psammophis schokari	—	*A.	*G.	*Blngr.	—	*H.	—	—	—	—	—	—
" *biseriatus*	—	—	—	*B.	—	—	—	—	—	—	—	
" *sibilans*	—	—	—	*B.	—	*Br.	*W.	—	*W.	—	*Wn.	
" *subtaeniatus*	—	—	—	—	—	—	—	—	*Hd. W.	*Wn.	—	
Psammophis punctulatus	—	—	—	—	—	*G.	—	—	—	—	—	—
Dispholidus typus .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(*) W.	—
Chilorhinophis butleri	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*W.	
Aparallactus concolor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*E.	—
Naia haie	—	—	—	—	—	*H.	*W.	—	*W.	—	—	*G.
" *nigricollis* . .	—	—	—	*As.	—	—	*Wn.	—	—	—	(*) W.	*G.
Elapechis laticinctus	—	—	—	—	—	—	—	—	*W.	—	—	—
Causus resimus . .	—	—	—	—	—	*H.	*W.	—	—	—	—	*G.
" *rhombeatus* .	—	—	—	—	—	—	*Wn.	—	—	—	—	—
Bitis arietans . . .	—	—	*H.	—	—	—	*W. M.	*R.	*W.	—	(*) W.	*G.
Cerastes cornutus .	*A.	*A.	*G. H.	—	—	*Bc.	—	—	—	—	—	—
Echis carinatus . .	—	*A. W.	*B.	*B.	—	—	—	*B. Wi.	*Hd.	—		
Atractaspis microlepidota	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*Wn.
Atractaspis phillipsi	—	—	—	—	—	*Br.	—	—	—	—	—	—
" *irregularis*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(*) E.	—
" *aterrima*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(*) E.	—
	15	29	18	22 (18)	2	40 (35)	35	22	27	17	36 (24)	11

A. = Anderson
As. = Andersson
B. = A. L. Butler
Bc. = Bruce
Bck. = Becker
Blngr. = Boulenger
Br. = Barbour
E. = Emin Pascha
F. = Flower

G. = Gordon Coll. Mus.
Gn. = Genua Mus.
H. = Hartmann
Hd. = Hendon
Hg. = Heuglin
J. = Jägerskiöld
Jn. = Jan
K. = Kammerer
M. = Marno

N. = O. Neumann
Ni = Nikolsky
S. = Sordelli
St. = Steindachner
Str. = Strauch
W. = Werner
Wi. = Wilson
Wn. = Wenyon

Die Klammern ( ) bei den Angaben über die Bahr-el-Gebel-Provinz bedeuten, daß die betreffenden Arten erst aus Gondokoro, Uganda oder südlich bekannt sind, aber wohl noch wenigstens im äußersten Süden der Provinz vorkommen dürften. Bei den übrigen besagen sie, daß die Art in die betreffende Provinz eben nur eintritt.

Geckonidae.

Pristurus flavipunctatus Rüpp.

(Werner, SB. Ak. Wiss. Wien, CXVI. 1907 (1908) p. 1828).

♀ von Sennaar, 22. II. (leg. v. Wettstein).
♂ u. ♀ von Bara, N. Kordofan, 7. III. (leg. v. Wettstein).
♂ u. ♀ von Wege Umm Ramad-Nubbaka, S. Kordofan, 16. III.
♂ u. ♀ von Talodi, Nuba-Provinz, 3. IV.

Eier fand ich bei Talodi (4. IV.) und Bir Joghan (8. IV.) im Mulm hohler Baumstrünke.

Diese Art hat demnach eine weite Verbreitung westlich des Nils und findet sich in ganz Kordofan und Nubaland auf Akazienstämmen. In Färbung und Größe ist sie überaus beständig. Aus Kordofan bereits von mir vom Gebel Araschkol nachgewiesen.

Hemidactylus brookii Gray.

Werner, l. c. p. 183.

Sennaar, 2 ♂♂, 1 ♀, 1 j. (20. II.)
El Obeid, 3 ♂♂, 3 ♀♀ (13. III.)
Gebel Debri, 25. III. ♀.
Zwischen Gulfan u. Keiga Tummero, ♀ (25. III.)
Zwischen Keiga Tummero u. Kadugli, ♀ (28. III.)
Khor el Affin, j. (31. III.)
Talodi ♂ u. ♀ (4. 5. IV.)
Tonga 2 ♂♂, 5 ♀♀ (10.—14. IV.)

Die einzige *Hemidactylus*-Art, die ich gefunden habe; am Blauen Nil gelang es mir auch nicht, den *H. Floweri* Wern. (nach Anderson = *tropidolepis* Mocq.) wieder aufzufinden. *H. brookii* ist aber wie schon aus obiger Aufzählung der Fundorte ersichtlich, weit verbreitet und ebenso im Freien wie in den Gärten von Sennaar und El Obeid und im Missionsgebäude von Tonga eine häufige Erscheinung.

In morphologischer Beziehung stammen die vorliegenden Exemplare sehr überein, auch mit denjenigen von der früheren Sudanreise (Khor-Attar, Gondokoro); höchstens wäre zu bemerken, daß bei den Stücken vom Weißen Nil (Tonga, Khor Altar) die Körnerschuppen häufig so groß und abstehend sind, daß man sie von den dazwischen stehenden Tuberkelschuppen kaum unterscheiden kann. Die Unterseite des Schwanzes kann in der Medianlinie von großen Cycloidschuppen oder mehr oder weniger stark quer erweiterten sechseckigen Schildern in einer Längsreihe bedeckt sein. Das größte diesmal gesammelte Exemplar, ein ♂ stammt von Tonga; es ist 55 + 64 = 119 *mm* lang, also noch größer als das gleichfalls vom Weißen Nil (Khor Attar) stammende Exemplar der früheren Sudanreise. Die ♂♂ sind ausnahmslos größer als die ♀♀, aber anscheinend weniger häufig.

Die wichtigsten morphologischen Merkmale sind aus nebenstehender Tabelle ersichtlich.

Sehr konstant ist die Zahl der Subdigitallamellen und die Verteilung der Kinn-(Infralabial)schilder; erstere beträgt 3 unter dem Innenfinger, 5 unter dem Mittelfinger; ganz so bei den Zehen. Mittlere Infralabialia stets hinter dem Symphysiale in Kontakt; meist 2 Paare.

Geschlecht	Fundort	Femoral-poren	Reihen von Dorsal-tuberkeln	Supra-labialia	Sublabialia	Länge	Sonstiges
♂	Sennaar	14—16	16	7—7	7—7	51 + 60	Aus dem Garten des Inspektors
♂	„	11—12	18	9—10	8—8	40 + 45	„
♀	„	—	18	8—9	7—7	38 + 45	„
jung	„	—	18	8—8	7—7	28 + 30	Unter der Rinde eines großen Baumes
♀	Gulfan-Keiga Tummero	—	16	8—8	7—7	50 + 55	
♀	Keiga Tummero-Kadugli	—	18	8—8	6—6	39 + 41 (reg.)	
♀	Gebel Debri	—	16	8—7	6—6	38 + 44	Aus dem Rasthaus (Strohhütte) am Fuße des Berges
jung	Khor El Affin	—	18	8—9		29 + ?	Aus einem Termitenbau
♂	Talodi	12—13	18	9—8	6—7	43 + 51	
jung	„	—	—			32 + ?	
♂	Tonga	14—14	18	8—8	7—6	55 + 64	An den Drahtgitterfenstern der Mission
♂	„	14—16	16	7—8	6—5	53 + 57 (reg.)	„
♀	„	—	18	7—8	6—6	47 + ?	„
♀	„	—	18	6—6	5— ?	45 + 53	„
♀	„	—	18	8—7	7—6	42 + 48	„
♀	„	—	18	8—7	7—6	35 + 40	„
♀	„	—	18	8—8	7—6	35 + 39	Linkes Sublabiale I mit Symphysiale verschmolzen
♂	El Obeid	15—14	16	8—7	7—7	47 + 53 (reg.)	Aus dem Garten des Gouverneurs
♂	„	13—13	16	8—9	6—7	45 + 52	„
♀	„	—	18	8—9	7—7	40 + 45	„
♀	„	—	16	8—8	7—7	40 + 44 (reg.)	„
♀	„	—	16	8—8	7—7	37 + 48	„

Ptyodactylus hasselquisti Donnd. subsp. *ragazzii* Anders.

Anderson, Zoology of Egypt, Rept. Batr. 1898, p. 69, Taf. VII, Fig. 10—11. = var. *togoensis* Tornier, Archiv f. Naturg. 67 1901. Beih. p. 68.

♂ vom Gebel Debri, 26./III.

17 Exemplare (3 ♀ ♀) vom Gebel Dilling (Delleng) III.

Diese große und stattliche Form des Fächerzehengeckos ist am ehesten dem erythräischen *ragazzii* zuzurechnen, obwohl sie in einigen unwesentlichen Punkten davon abweicht. Aber ich muß gleich von vornherein bemerken, daß trotz der großen Mühe und Sorgfalt, die Anderson auf die Charakterisierung der von ihm unterschiedenen Formen verwendet hat, eine auch nur einigermaßen befriedigende Scheidung in Rassen nicht resultiert, da alle Merkmale recht wenig konstant sind. Ich kann außer den beiden, ziemlich robust gebauten Extremen, dem kleinen *oudrii* Lat. der algerischen Saharaberge und dem vorliegenden *ragazzii* And. nur noch eine sehr schlank gebaute und zarte Form, die ich aus dem Niltale (namentlich Luxor) kenne und eine stämmigere, syrisch-arabische Rasse, die

vielleicht in die *ragazzii*-Form übergeht, unterscheiden. Ich habe alle vier Formen lebend vor mir gehabt; nur die Togo-Form kenne ich nicht aus eigener Anschauung.

Die von der Zahl der Lamellen an den Fingern und Zehen und der Labialia hergenommenen Merkmale sind nur mit großer Vorsicht zu gebrauchen; denn es liegt völlig im Belieben des Untersuchers, wie viele Supralabialia oder Lamellen er zählen will und bei der überhaupt geringen Variabilität bedeutet das eine ganz ansehnliche Fehlerquelle. Ich habe mich bei der Zählung der Supralabialia daran gehalten, als solche alle Oberlippenschildchen anzusehen, die nicht merkbar kleiner als ihre Vorgänger sind; wenn auf ein Supralabiale zwei übereinanderstehende Schildchen folgen, die miteinander ebenso hoch sind, wie dieses, so zähle ich es als letztes Supralabiale; ebenso rechne ich als Subdigitallamellen nur diejenigen, deren dreieckige Spitzen am Außen-, nicht am Hinterrande der verbreiterten Haftfläche ausmünden. Auf diese Weise glaube ich eine leidliche Vergleichsbasis geschaffen zu haben, ohne aber, wie bereits bemerkt, den auf diese Weise gewonnenen Zahlen eine andere Bedeutung zuzurechnen, als daß aus ihnen die geringe Möglichkeit einer schärferen Abgrenzung sich ergibt. Bessere Anhaltspunkte bieten Körperbau, Zahl der Infralabialia, Trennung oder Berührung der Supranasalia, Vorwölbung der Nasalgegend, ohne daß aber irgend eines dieser Merkmale ganz zuverlässig wäre. Im allgemeinen kann man aber charakterisieren:

Subsp. *oudrii* Lat.: Größe gering (43—57 *mm* Kopfrumpflänge). Wenig Subdigitallamellen (7—8). Tuberkelreihen 8—10. — Algerische Sahara.

Subsp. *typica:* Mittelgroß; schlank, langbeinig (55—76 *mm.* Kopfrumpflänge); wenig Subdigitallamellen (8—10); Nasengegend stark angeschwollen. — Niltal.

Subsp. *guttata* Heyd. (exkl. Sektion II Anderson's, die ich der vorigen subsp. zurechne): größer, robust; (64—90 *mm* Kopfrumpflänge); Zahl der Subdigitallamellen wie vorige Form (8—11); Nasengegend etwas angeschwollen, aber nicht tubulär, wie bei voriger Form. — Syrien, Arabien, Rote Meer-Küste Ägyptens und des Sudan.

Subsp. *ragazzii* Andus. Größte und massivste Form (67—96 *mm* Kopfrumpflänge); 10—14 (ausnahmsweise 8—9) Subdigitallamellen; Nasalgegend wie vorige Form; Supranasalia genähert oder in Kontakt. Erythräa, Schoa; Kordofan, Togo.

Die Kordofan-Form von *ragazzii* charakterisiert sich wie folgt: Körper kräftig, Kopf namentlich hinter den Augen breit; beim ♀ sind große Sacci endolymphatici und zwar mitunter nur auf einer Seite sichtbar. Vorderbeine reichen wenigstens bis zum 2. Supralabiale, äußerstenfalls über die Schnauzenspitze hinaus; Hinterbeine wenigstens bis zur Achselhöhle, höchstens bis zur Schulter. Subdigitallamellen 10—14; Supralabialia 10—13; Infralabialia nie mehr als 3, häufig 2; das mediane Paar meist sehr genähert, selten in Kontakt. Die Begrenzung des Nasenloches wird bald durch 3 Nasalia (selten 4), Rostrale und 1. Supralabiale, bald mit Ausschluß von Rostrale oder Supralabiale, selten beider hergestellt; die Nasalgegend ist mehr weniger gewölbt, doch niemals tubulär. Rückentuberkel in 10—16 Längsreihen (meist 14) kreisrund oder elliptisch, mehr oder weniger stark gekielt; auch auf Unterarm, Ober- und Unterschenkel derartige Tuberkel, Schwanz meist ebenso lang oder kürzer als der Körper, mit Tuberkeln am Hinterrande der vordersten Segmente. 1—3 Höckerschuppen jederseits an der Schwanzwurzel. Supranasalia mehr genähert als bei den übrigen Formen, bei 4 von 18 Exemplaren median in Berührung. Färbung schiefergrau, sehr undeutlich rotbraun gezeichnet, in Form von verwaschenen großen Flecken oder breiten Querbinden; sehr selten Finger und Zehen dunkel geringelt. Unterseite heller grau. Labialia dunkel punktiert. Am Tage schwarzgrau. ♂ erheblich zahlreicher als ♀; letztere mit großen Halsdrüsen (Sacci endolymphatici); Eier entsprechend der bedeutenderen Größe weit größer als bei *oudrii* (16·5 × 12·5 *mm*, bei letzterer Form aber nur 5 × 4·5 *mm*). Schon bei dieser Form ist die Zahl der Infralabialia gelegentlich höher als bei *ragazzii* (hier 2—3, bei *oudrii* 3—6); bei der Form *guttata* fand ich 3—6, bei *typica* 3—5 Infralabialia; die medianen hier ziemlich weit getrennt. Die Zahl der Supralabialia schwankt fast in denselben

Geschlecht	Fundort	Kopfrumpflänge	Schwanzlänge	Kopflänge und Kopfbreite	Vorderbein erreicht	Hinterbein erreicht	Nasenloch begrenzt durch	Lamellen auf der Unterseite vom 3. Finger und 3. Zehe	Supralabialia	Infralabialia	medianes Paar in Kontakt	Reihen von Rückentuberkeln
♂	Ain Sefra (*ondrii*)	55	(54) 3. T. reg.	17 × 12	über Schnauzenspitze hinaus	Schulter	3 + R + L 3 + L	7, 8	13—11	4—5		10
♂	„	54	51	16	erreicht Nasenloch	„	3 + R + L	8, 8	11—11	3—3		8
♂	Biskra (*ondrii*)	43	45	14 × 9	—			7, 7	—12	4—6		10
♂	„	53	—	18 × 10	—	—	3 + R + L	9, 10	—11	3—3		8
♀	„	49	48	16 × 10	—			7, 8	12—	3—4		8
♂	Syrien (*guttata*)	70	66	24 × 17	Schnauzenspitze	Ohröffnung	3 + R + L	9, 9	14—12	4—3		14
♂	Safje, Palästina (*guttata*)	67	59	20 × 14	über Schnauzenspitze hinaus	zwischen Schulter und Ohröffnung	3 + R + L, 3 + R	10, 11	11—11	6—4		10
♂	Gamilab Hills, Sudan (*guttata*)	68	—	22 × 14	Schnauzenspitze	Schulter	3 + R + L	8, 10	14—13	4—3		12
♀	„	70	—	24 × 16	„	„	3 + R + L 3 + R	9, 9	11—12	3—3		12
♂	Ägypten	62	54	19 × 14	weit über Schnauzenspitze hinaus	zwischen Schulter und Ohr	3 + R	8, 9	13—12	4—4		10
♀	„	60	—	20 × 12	„	Schulter	3 + R + L	8, 9	12—11	4—5		10
♂	„	60	50	17 × 12	„	„	3 + R + L	9, 8	12—11	4—5		
♂	„	64		19 × 13	„	„	3 + R + L	9, 10	13—13	3—3		14
hw.	„	46	54	14 × 9	„	Achselhöhle	3 + R	8, 9	12—13	3—3	durch Symph. weit getr.	10
♂	Kairo	71	—	21 × 13				10, 10	13—13	3—3		12
♂	„	59	41	19 × 13				9, 10	12—12	3—5		?
♂	„	57	—	19 × 11				8, 9	12—12	4—3		?
♂	Luxor	71	67	21 × 14	„	Schulter	3 + R + L	9, 10	13—12	4—4	fast in Kontakt	14
♂	„	69	80	20 × 13	„	„	3 + R + L	9, 10	12—12	3—5	in Kontakt	12
♂	„	52	60	15 ×	„	„	3 + R + L	9, 10	12—12	3—3		10

Geschlecht	Fundort	Kopf-rumpf-länge	Schwanz-länge	Kopflänge und Kopfbreite	Vorderbein erreicht	Hinterbein erreicht	Nasenloch begrenzt durch	Lamellen auf der Unterseite vom 3. Finger und 3. Zehe	Supra-labialia	Infra-labialia	medianes Paar in Kontakt	Hals-drüsen
♂	Gebel Debri, 26./III., 14	84	(reg.)	25 × 19	Schnauzenspitze	Schulter	3 — R, 4 + R.	11, 13	12—11	2—2	—	—
♂	Gebel Delleng, III., 14	96	66	27 × 21	Nasenloch	Achselhöhle	3 + R + L	12, 13	12—10	2—2	—	—
♂	„	90	98	26 × 21	2. Supralabiale	Schulter	3 + R + L	12, 14	10—13	2—2	—	—
♂	„	82	70	26 × 19	über Schnauzen-spitze hinaus	zwischen Schulter und Ohröffnung	3 + 2, 3 + 1 + R	13, 13	11—12	2—2	—	—
♂	„	78		22 × 16	Schnauzenspitze	Schulter	3 + R, 3 + R + L	12, 12	13— ?	2—2	—	—
♀	„	78	75	23 × 17	über Schnauzen-spitze hinaus	Achselhöhle	3 + 1, 3 + L	11, 12	12—11	3—3	in Kontakt	links
♀	„	77	74	24 — 18	1. Supralabiale	Schulter	3 + R + L	10, 11	13—12	3—3	—	beiderseits
♀	„	79	62	24 × 18	Nasenloch	Achselhöhle	3 + R + L	10, 11	12—11	3—3	in Kontakt	beiderseits
♂	„	79		22 × 18′	Schnauzenspitze	Schulter	3 + 1 + R 3 + R + L	12, 13	10—11	3—3	—	—
♂	„	75	75	22 × 18	Nasenloch	Schulter	3 + L 3 + R + L	12, 13	13—12	3—3	—	—
♂	„	75	75	22 × 16	Schnauzenspitze	Schulter	3 + R + L 3 + 1 + R	12, 13	11—12	3—3	—	—
♀	„	73		25 × 17	Über Schnauzen-spitze hinaus	Achselhöhle	3 + R + L	10, 12	13—12	3—3	—	beiderseits
♀	„	72		21 × 15	Über Schnauzen-spitze hinaus	Schulter	3 + 1 + R 3 + R + L	11. 11	13—13	3—3	—	rechts
♂	„	71	71	22 × 16	1. Supralabiale	Schulter	3 + L 3 + R + L	12, 13	10—12	2—3	in Kontakt	—
♂	„	70		21 × 16	Nasenloch	Schulter	3 + R 3 + R + L	11, 11	12—12	3—3	—	
♂	„	69	(reg.)	22 × 15	Über Schnauzen-spitze hinaus	Schulter	3 + L 3 + R + L	11, 12	13—10	3—3	—	—
♂	„	67		22 × 16	Schnauzenspitze	Achselhöhle	3 + R + L	11, 11	12—12	3—3	—	—
♂	„	60	67	18 × 14	Über Schnauzen-spitze hinaus	Schulter	3 + R + L 3 + L	13, 12	11—10	3—3	—	—

Grenzen wie bei *ragazzii*. Die wichtigsten Merkmale der mir zur Verfügung stehenden Vergleichsexemplare (aus meiner Sammlung und aus der zoologisch-vergleichend-anatomischen Sammlung der Universität Wien) sind wie nebenstehend (p. 37—38) angegeben:

Die Auffindung dieses Geckos in den Nubabergen und zwar in einer sehr großen und stattlichen Varietät ist von großem Interesse, wenn man bedenkt, wie weit diese Fundorte auch noch von den nächstgelegenen im Sudan (Wadi Halfa und Gamilab-Hills bei Suakin, beide noch beträchtlich innerhalb der paläarktischen Region gelegen, entfernt sind. Im Dilling-Gebirge war er an den kahlen glatten Felsen desjenigen Berges, an dessen Fuße die katholische Mission liegt, überaus häufig, wie aus der ansehnlichen Zahl der mir von den Nubakindern gebrachten Exemplare ersichtlich war; am Gebel Debri, wo er unter ähnlichen Verhältnissen lebt, erhielt ich nur ein Exemplar. Im Gebel Gulfan, einem Gneissgebirge, das einen ganz anderen Habitus besitzt, wie die vorgenannten und daher keinerlei kahle Felswände aufweist, habe ich die Art vergebens gesucht. — Die diskontinuierliche Verbreitung dieses echten Felsengeckos ist sehr bemerkenswert. In Nordafrika in den Bergen der Ost- und Westalgerischen Sahara nachgewiesen, fehlt er in Tunesien, Tripolitanien und in der Cyrenaika und es ist wahrscheinlich, daß ein direkter Zusammenhang des algerischen mit dem ägyptischen Verbreitungsgebiete nicht existiert, sondern daß der Zusammenhang mit der sudanesischen Hauptform, der mindestens von Togo (Mangu) bis Erythraea verbreiteten *ragazzii* (var. *togoensis* Tornier ist damit absolut identisch, wie schon das häufige Vorkommen des wichtigsten Merkmales, der Berührung der Supranasalia bei der Kordofan-Form beweist) durch die Saharaberge (Tuareggebiet etc.) hergestellt wird; es hätten sich demnach vom Hauptverbreitungsgebiete der Art drei Seitenlinien abgezweigt, von denen aber nach unseren derzeitigen Kenntnissen keine mit ihm zusammenhängt; eine westliche, die bis zum saharischen Atlas reicht *(oudrii)*, eine nilotische *(typica)* und eine östliche (Küste des Roten Meeres, Sinai, Palästina, Syrien): die *guttata*-Form; weiter abweichend, obwohl vielleicht auch nicht mehr als Subspecies sind der *Pt. socotranus* Stdchr. von Sokotra und *Pt. homoeolepis* von Sind.

Wenn man will, kann man auch von subsp. *ragazzii* noch drei Rassen unterscheiden, von denen die westliche *(togoensis)* durch nicht aufgetriebene Backen, fehlende Halseinschnürung sich unterscheiden soll (vielleicht in der Konservierung gelegen!); die beiden übrigen Formen haben deutliche Backen und Halseinschnürung, die Kordofan-Form aber meist mehr Subdigitallamellen als die erythräischen. Es scheint mir aber von letzteren ebenso wie von der Togo-Form erheblich mehr Material notwendig zu sein, um eine wirkliche Rassenverschiedenheit erkennen zu können. Gegenwärtig ist ein Bedürfnis nach Trennung dieser Formen noch nicht vorhanden.

Lygodactus picturatus *Ptrs.* v. **gutturalis** Boc.

Werner, l. c. p. 1833.

♂ gefangen an Bord des Dampfers »Omdurman«, 22./IV.
♀ Sennaar, 23./II. (leg. v. Wettstein.)

In Kordofan habe ich diesen Gecko niemals gesehen; er scheint demnach nach Westen kaum über das Niltal hinauszugehen. Kammerer erwähnt ihn zwar von Duem, doch ist es wahrscheinlich, daß er entweder vom gegenüberliegenden Ostufer stammt oder aber durch den Menschen verschleppt wurde, was bei dieser in Häusern lebenden Art leicht möglich ist.

Tarentola annularis Geoffr.

Werner, l. c. p. 1832.

In Nordkordofan ist diese Art weit verbreitet und häufig; wir trafen sie in Bara (6./III) in einem als Küche benützten kleinen Lehmhause, in El Obeid (3./III.) erhielten wir sie ebenfalls aus Häusern; in Khartoum war sie im Gordon Hotel in einem zum Aufbewahren von allerlei Gerümpel dienenden

Verschlage eine regelmäßige Erscheinung; dagegen wurde der Ringgecks bei Port Sudan in der Steinwüste unter großen Steinen häufig angetroffen; diese bei Tage gefundenen Exemplare waren fast schwarz[1], dagegen erschienen die bei Nacht gefangenen nahezu weiß.

Die größten Exemplare (Bara, 85 + 81 = 166 *mm* und El Obeid 91 + 79 = 170 *mm*) bleiben hinter meinem größten aus Kairo (113 + 97 = 210 *mm*) erheblich zurück. Supralabialia 10—12, Sublabialia 9—11; Tuberkelreihen durchwegs 14.

In Südkordofan habe ich diesen Gecko nirgends gesehen.

Agamidae.

Agama sinaita v. Heyden.

Werner, Sitzungsber. Ak. Wiss. Wien, CXVI. 1907 (1908), p. 1835.

♂ von der Wüste hinter Port Sudan, leg. Ebner, 1. V.

Das von Ebner in der Steinwüste bei Port Sudan gefangene Exemplar ist das größte, das mir bekannt geworden ist; es mißt 273 *mm*, wovon 175 *mm* auf den Schwanz kommen. Kopf groß und dick (30 *mm* lang bis zur Kehlfalte, 28 *mm* breit); 4 große Präanalporen, jederseits davon noch eine kleinere.

Kopf oben vorn bleichgelb, hinter der Verbindungslinie der Augenhinterränder und an den Seiten hellblau. Rumpf und Gliedmassen hellbläulichgrau, Rückenmitte gelblich; Schwanz oberseits hellbräunlichgelb. Kehle, überhaupt Unterseite weiß.

Das Exemplar war ganz im Gegensatze zu denjenigen, die ich im Mokattamgebirge bei Kairo und bei Heluan gefangen habe und die im Laufen und Springen an *A. colonorum* erinnerten, nicht sehr lebhaft und lief in sehr mäßigem Tempo zwischen Baumwurzeln und allerlei Gestrüpp herum. Sie verhält sich als rein bodenbewohnende Art zu der felsenbewohnenden *A. spinosa,* wie in Kordofan *A. hartmanni* zu *A. colonorum* oder in der westalgerischen Sahara *A. inermis* zu *A. bibronii.*

Wie bereits Anderson bemerkte, ist diese Art in Nordafrika ausschließlich auf das rechte Nilufer beschränkt; sie ist außer von den beiden obengenannten Fundorten noch von der Ebene von Suez, von Dongola und Sennaar bekannt; der Fundort Port Sudan ist neu, die Art ist von Anderson in der »Red-Sea-Province« nicht gefunden worden.

Agama doriae Blngr.

Boulenger, Cat. Liz. III. 1887, p. 495; Ann. Mus. Genova. 1895, p. 13, 1896, p. 277; Proc. Zool. Soc. 1895, p. 533.

Infolge der recht ungenügenden Beschreibung der *A. hartmanni* durch Peters und die große Ähnlichkeit dieser Art mit der oben genannten hat sich eine lange Reihe von Irrtümern und Verwechslungen ergeben und es erscheint mir sehr zweifelhaft, ob außer der Peters'schen Type aus Dongola und dem von mir aus Taufikia am Weißen Nil beschriebenen Exemplar (Third Rep. Wellc. Res. Lab. Gordon Mem. Coll. Khartoum 1908, p. 169) noch ein einziges sicheres Exemplar der *A. hartmanni* bekannt geworden ist.

Die Reihe der Irrtümer beginnt mit der Feststellung Andersons (in Zoology of Egypt, Rept. Batr. 1898, p, 119), daß *A. hartmanni* und *doriae* identisch sein sollen. Ich habe dann angebliche *doriae* des Berliner Museums, die aber wohl sicher nichts anderes als deutschostafrikanische *colonorum* waren, mit letzterer Art verglichen und kam natürlich zu dem Schlusse, daß beide Arten identisch sind; Boulenger benannte Exemplare einer Agame von Bor am Bahr-el-Gebel *A. hartmanni*; die

[1] Diese Färbung ist natürlich ebensowenig konstant, wie bei anderen unter gleichen Umständen gefundenen Geckoniden, daher handelt es sich hier ebensowenig um eine besondere Unterart, wie bei den dunklen Ringgeckos, die O. Neumann unter sehr ähnlichen Verhältnissen im Somaliland gefunden hat. (Zool. Jahrb. Syst. XXII. 1905.)

Identität ist aber, da Anderson und Boulenger diese Art mit *A. doriae* vereinigen, nicht festzustellen; es ist aber möglich, daß diese Agame wirklich *hartmanni* ist und diese im ganzen oberen Niltal vorkommt. Jedenfalls hat Anderson die Verwirrung dadurch vergrößert, daß er in die von ihm aufgestellte Diagnose von *A. hartmanni* auch Merkmale von *doriae*, ja vielleicht sogar von *colonorum* hineingenommen hat; denn zum Beispiel die Beschreibung einer prächtigen Blaufärbung der Unterseite paßt ganz und gar nicht auf *hartmanni* oder *doriae*.

Ich hatte schon meine ganze Kordofan-Ausbeute von Agamen unter dem Gesichtspunkte bearbeitet, die wahre *Agama hartmanni* vor mir zu haben, als ich zur Erlangung völliger Sicherheit mich entschloß, mich geradeso wie Anderson an Herrn Professor Tornier zu wenden, mit der Bitte, meine Kordofan-Agamen mit der Type der *hartmanni* zu vergleichen und mir auch photographische Aufnahmen der letzteren senden zu wollen. Herr Professor Tornier entsprach meiner Bitte mit gewohnter Liebenswürdigkeit und teilte mir als Ergebnis seines Vergleiches mit, daß er meine Kordofan-Agamen für *A. doriae* und für zwar nahe verwandt, aber doch artlich verschieden von *A. hartmanni* halte — ein Standpunkt, den er bereits Anderson gegenüber eingenommen hatte und den ich wenigstens in seinem zweiten Teile als vollkommen richtig betrachte. Die Photographien der Type von *A. hartmanni* bewiesen auch sofort die Richtigkeit der Annahme, daß meine Kordofaner keine *hartmanni* seien, zeigten mir aber gleichzeitig, daß das in meinem Besitze befindliche Exemplar der *A. hartmanni* aus Taufikia wirklich dieser Art angehört.

Agama hartmanni, Taf. II, Fig. 2, 2*a*, charakterisiert sich vor allem, wie auch die Photographie der Type deutlich erkennen läßt, dadurch, daß die Rückenschuppen erheblich größer als die lateralen sind, so daß eine Strecke gleich der Entfernung von der Schnauzenspitze zum Hinterrande des Occipitale (Interparietale) auf dem Mittelrücken etwa 14, auf der Seite 18—20 Schuppen hintereinander umfaßt. Dies ist auch bei meinem Exemplare aus Taufikia der Fall, entgegen meiner seinerzeitigen Angabe, da ich damals die Schuppen noch an der Seite des Rückens, also noch zu weit oben in Betracht gezogen hatte. Man sieht aber ganz deutlich, daß von einer bestimmten Stelle angefangen unter einer Rückenschuppe zwei Seitenschuppen stehen oder sich eine schmale Verticalschuppenreihe hie und da einschiebt, dabei aber die benachbarten Lateralschuppen nur halb so groß werden. Bei *A. doriae* aber sind die Seitenschuppen gerade so groß wie die dorsalen und die Schuppen bilden vertikale Ringe fast um den ganzen Körper herum.

Das zweite wesentliche Merkmal der *A. hartmanni* ist die außerordentliche Reduktion der Stacheln in der Ohr- und Halsgegend; bei meinem Exemplar aus Bor noch weiter gegangen als bei der Type, denn diese läßt noch Halsstacheln erkennen, die bei meinem Exemplare gänzlich fehlen.

Schließlich ist das gänzliche Fehlen einer Kehlzeichnung für diese Art sehr kennzeichnend; weder der tintenschwarze Fleck am Hinterrande der Gularfalte, noch der darauffolgende rote Fleck ist bei der Type und dem Taufikia-Exemplare zu beobachten, obwohl beide ♂♂ sind.

Nicht unwichtig scheint mir auch, daß die Kiele der Dorsalschuppen bei *A. doriae* mit der Medianlinie einen sehr deutlichen Winkel bilden, bei *hartmanni* aber, wenn nicht geradezu parallel, so doch nur unter einem sehr kleinen Winkel (am größten noch in der Schultergegend) an die Mediane herantreten.

Im übrigen sehen sich beide Arten recht ähnlich — Unterschiede in Beschuppung (außer den genannten), Größe und Zehenlänge sind nicht auffällig, auch die Färbung der Oberseite nicht merklich verschieden — daher eben die oftmalige Verwechslung.

Nun fragt es sich weiterhin: Ist die Kordofan-Agame wirklich *A. doriae* oder paßt letzterer Name nicht vielleicht besser auf die von mir beschriebene *A. sennariensis*?

Die Antwort darauf zu geben, ist nicht leicht, denn mit der Beschreibung der *A. doriae* durch Boulenger ist leider nicht viel mehr anzufangen, als mit derjenigen von *A. hartmanni*; dazu sind auch noch die Typen, ja auch nur Cotypen vorläufig unzugänglich.

Die Identität der *A. sennariensis* mit der *doriae* würde aus folgenden Erwägungen hervorgehen:

1. Vergleicht Boulenger die *doriae* mit *colonorum* und *bibronii*: Die Kordofan-Agame hat aber mit beiden letztgenannten Arten keine besondere Ähnlichkeit, wohl aber die Sennar-Art. Boulenger wäre es wohl aufgefallen, daß die *doriae* auch im ♂ einen drehrunden Schwanz besitzt, wenn ihm die Kordofan-Form vorgelegen hätte.

2. Boulenger erwähnt zwei dunkle Linien, eine vom Auge gegen den Nacken, die andere gegen das Ohr ziehend. Beide sind auch bei *A. sennariensis* sehr deutlich, freilich aber auch meist bei der Kordofan-Agame.

3. Boulenger erwähnt bei *A. doriae* nicht die auffallende Kehlfärbung, die dem ♂ der Kordofan-Agame zukommt; freilich aber auch nicht den tintenschwarzen Kehlfleck der *A. sennariensis*.

4. Boulenger erwähnt schließlich auch nicht die gelbe Rückenlinie, die bei der Kordofan-Agame so häufig auftritt; wohl aber tut Anderson einer solchen Linie bei *A. doriae* Erwähnung.

Es ist also eher wahrscheinlich, daß die Sennar-Agame mit *A. doriae* identisch ist, auch aus geographischen Gründen; denn das Verbreitungsgebiet der *A. doriae* (Abessynien) grenzt unmittelbar an das der *A. sennariensis*, während es von demjenigen der Kordofan-Agame durch ein beträchtliches Gebiet östlich und vielleicht auch westlich vom Nil getrennt ist.

Unter diesen Umständen bleibt mir kein anderer Ausweg als die *A. doriae* in drei Subspecies zu teilen, welche sich wie folgt, unterscheiden lassen:

A. doriae doriae Blngr.

Schwanz beim ♂ hinter der Basis seitlich compreß; Kehle braun gefleckt; Unterseite von der Kehlfalte an dunkel retikuliert (♀) oder mit Einschluß der Schulter und Vorderbeine bis zur Bauchmitte blau (♂).

Kopfrumpflänge 110 *mm.* — Abessynien, Somaliland, Britisch-Ostafrika.

A. doriae sennariensis Wern.

Schwanz beim ♂ hinter der Basis deutlich compreß; Kehle beim ♂ dunkel retikuliert.

Kopfrumpflänge 90 *mm.* — Sennaar.

A. doriae cordofanensis Wern.

Schwanz beim ♂ hinter der Basis drehrund; Kehle beim ♂ mit tintenschwarzem Fleck vor und mennigrotem Fleck hinter der Kehlfalte, Eine gelbe Spinallinie häufig vorhanden.

Kopfrumpflänge 100 *mm.* — Südkordofan und Nuba-Provinz.

Diese letztgenannte Subspezies verbindet durch die nahe verwandte *A. hartmanni* die bodenbewohnenden paläarktischen Agamen der Gruppe I bei Boulenger mit den Felsen- und Baumagamen der Gruppe II B (vgl. auch meine Tabelle der nordostafrikanischen Agamen in Mitt. naturhistor. Mus. Hamburg XXX. 1913, p. 9).

A. doriae cordofanensis Wern. n. subsp. (Taf. II, Fig. 1, 1*a* und Tab. p. 44—45.)

A. hartmanni, Werner in: Anz. Akd. Wiss. Wien 1914, Nr. XVIII.

Diese schöne Eidechse ist als charakteristisch für Südkordofan und die Nuba-Provinz anzusehen. Sie ist vom Sungikai bis Talodi verbreitet und wird von Norden nach Süden immer häufiger, während *A. colonorum,* die einzige mit ihr zusammen vorkommende Agame, nach Süden, wenngleich nicht im selben Verhältnisse, an Individuenzahl abnimmt. Während aber die Siedleragame überall als Baum- und Felsentier auftritt, ist die Kordofan-Agame ein typisches Tier des Erdbodens, welches sich zwar bei Gefahr gelegentlich in einen hohlen Baumstamm verkriecht, aber niemals, wie etwa *colonorum* und *sennariensis* auf einen Baumstamm flüchtet; auf felsigem Boden habe ich sie überhaupt nirgends angetroffen. Sie läuft weniger behend, als die beiden vorerwähnten Arten, läßt sich daher leichter fangen.

Diese Form ist erheblich kleiner als die Siedleragame. Ich habe nur ein einziges, anscheinend sehr altes ♂ mit 10 *cm* Kopfrumpflänge gemessen; 75—80 *mm* ist die größte Kopfrumpflänge, die sie im allgemeinen erreicht und bei der sie ihre charakteristische Färbung und Zeichnung voll entwickelt hat. Sie fällt ferner durch das vollständige Fehlen eines Farbenwechsels auf.

Der Kopf ist im Vergleich zu *A. colonorum* kürzer und dicker; die Stachelschuppen am Ohr und an den Halsseiten sind kürzer. Die mediane Schuppe auf der Mitte der Schnauze, die für *A. colonorum* durch ihre Länge so charakteristisch ist, erscheint kurz, ist wenig länger als breit und nicht längsgekielt, sondern sehr stumpf konisch (fehlt selten ganz); ein dicht darauf folgendes unpaares vergrößertes Schild, das man als Frontonasale betrachten könnte, tritt fast immer, ein Paar daranstoßender Präfrontalia (mitunter durch ein Interkalare getrennt) häufig durch bedeutendere Größe hervor. Von den um das Occipitale (richtiger Interparietale) herum gelagerten Schildchen liegt häufig ein Paar vergrößerter diesem Schilde seitlich an und es sind diese wohl als Parietalia anzusehen.

Der Rumpf und Schwanz sind ziemlich niedergedrückt, der Nackenkamm auch beim ♂ schwächer als bei *A. colonorum*; ein Suprakaudalkamm fehlt vollständig, der Schwanz ist in seiner ganzen Länge drehrund. Die Rücken- und Seitenschuppen sind stark gekielt, durchwegs kleiner als bei *colonorum*, mit kurzen Spitzen: ihre Zahl um die Körpermitte ist überaus schwankend, sie variiert zwischen 66 und 96 (Mittel bei 41 Exemplaren 75); auf einer Strecke des Mittelrückens gleich der Entfernung von der Schnauzenspitze zum Hinterrande des Occipitale kommen 13—27 (im Mittel 18) Schuppen.

Die Länge der Gliedmassen und des Schwanzes entspricht etwa den Verhältnissen beim *colonorum*; die Verschiedenheit der Länge der 3. und 4. Zehe ist geringer als bei dieser Art, aber ganz gleich lang sind sie doch nur selten. Die Zahl der Analporen des ♂ beträgt 9—12; eine zweite; kürzere oder median unterbrochene Reihe ist nicht sehr selten.

Die Färbung der Oberseite ist bei beiden Geschlechtern ein helles Gelb- oder Rotbraun; der Kopf ist mitunter hellockergelb, aber diese Färbung nicht in einen Dreiecksfleck auf dem Nacken sich festsetzend. Eine helle (gelbliche), auch auf die Schwanzoberseite sich fortsetzende Rückenmittellinie fehlt selten und ist als sehr charakteristisch für diese Art zu bezeichnen, auch im Vergleich zu der sonst öfters sehr ähnlich gezeichneten (aber nicht gefärbten) *A. sennariensis*, bei der die Rückenmitte breit weißlich gefärbt ist. Eine dunkle Schläfenlinie ist aber beiden Arten gemeinsam; die dunkle Linie jederseits von der Mitte des Nackens, für *sennariensis* charakteristisch, fehlt der *hartmanni*. Jüngere Tiere sind mehr graubraun. Die Körperzeichnung besteht aus dunklen, in der Mitte des Rückens durch die Längslinie unterbrochenen Querbinden, in die helle Flecke eingeschaltet sind; dadurch kommt es mehr oder weniger zur Ausbildung von Augenflecken oder von dunklen x-förmigen, durch helle Zwischenräume getrennten Zeichnungen. Es können aber auch alle Zeichnungen bis auf die helle Spinallinie verschwinden oder auf dunklem Grunde schmale helle Querbinden von dieser ausgehen (bei alten ♂♂). Die Kehle ist beim ♂ durch den schwarzen Fleck vor dem Hinterrande der Querfalte und einen hinten anschließenden lebhaft mennig- oder zinnoberroten Fleck oder Saum höchst charakteristisch, sonst mehr weniger, ebenso wie die Brust schwärzlich marmoriert. Über Dimensionen und verschiedene morphologische Charaktere gibt die folgende Tabelle Aufschluß.

Agama doriae sennariensis Wern. (Taf. I, Fig. 4, 4*a* und Tabelle p. 47.)

A. sennariensis Werner in: Anz. Akd. Wiss. Wien 1914, Nr. XVIII.

Nächstverwandt *A. colonorum* Daud., aber merklich kleiner, Schnauze kürzer. Schwanzwurzel des ♂ weniger breit (zwischen den Knien schmäler als bei *colonorum*, ebenso breit wie der Abstand der Augenbraunenränder); mittlere Schuppen an der oberen Seite der Schwanzwurzel länger als breit, dachförmig gekielt (bei *colonorum* breiter als lang, aufliegend gekielt). Färbung vollständig von derjenigen von *colonorum* verschieden: Oberseite hell graubraun, Rückenmitte heller, fast weißlich; zu jeder Seite des Nackenkammes eine schwarzbraune Längslinie; eine Längslinie vom Augenhinterrande

Geschlecht	*Agama doriae cordofanensis* Fundort	Länge	Kopflänge	Vorderbein	Hinterbein	Schuppen um die Rumpfmitte	Schuppen auf einer Strecke des Rückens gleich der Entfernung von Schnauzenspitze und Occipitale (Hinterrand)	Hinterbein reicht bis	Schildchen am Hinterrande des Occipitale	Schildchen um das Occipitale	Frontonasale und Präfrontale unterscheidbar	Analporen
♀	Sungikai, 19. III.	80+58 (reg.)	22	30	45	71	14	Achselhöhle	1+1+1	9	Fn. Pf. 2 F.	—
♀	»	53+ ?	16	26	36	73	18	Ohrhinterrand	2+2	11	Fn. Pf.	—
♂	»	70+134	21	32	49	81	19	Hinterende des Unterkiefers	1+2+1	9	Fn. Pf. 2 F.	10
♀	Rasthaus zwischen Sungikai und Dilling, 19. III.	52+98	16	26	39	66	17	zwischen Ohr und Auge	1+3+1	11	—	—
♀	Dilling, 21. III.	65+85+ ?	19	30	45	72	18	Ohrvorderrand	6	13	—	—
♂	»	60+ ?	18	30	45	68	18	Augenhinterrand	1+1+1	12	—	10
♂	Zwischen Ras-el-Fil u. Gulfan, 23. III.	100+151	24	43	58	66	15	über Schulter hinaus	5	12	—	12
♂	Debri, 26. III.	75+129	20	34	58	72	18	Ohrhinterrand	2+1+3	11	Fn. Pf.	11
♂	»	57+102	18	27	50	68	17	zwischen Auge und Ohr	1+1+1	10	Fn.	10
♂	»	55+95	17	28	40	78	21	Mundwinkel	5	12	—	11
♂	Debri-Kadugli, 27. III.	85+ ?	21	38	53	69	13	Ohrhinterrand	1+2+1	9	Fn. Pf.	10
♂	Kadugli, 28. III.	80+153	22	36	53	71	16	Ohrvorderrand	2+1+1	9	Fn.	9
♂	»	75+142	22	35	52	66	18	»	3	10	Fn. Pf.	9 vorn 10 hinten
♂	»	75+130	21	31	49	70	18	Hinterende des Unterkiefers	3	10	Fn. Pf. F. (quer geteilt)	10 vorn 3—3 hinten
♂	»	75+ ?	22	35	49	72	18	Ohrvorderrand	5	12	Fn. Pf.	7 vorn 11 hinten
♂	»	70+139	22	38	54	72	16	Augenhinterrand	1+2+1	10	Fn. Pf.	10
♂	»	70+87 (reg.)	20	35	48	70	18	Ohrvorderrand	4	10	Fn. Pf. (Ic.)	10
♂	»	65+ ?	21	32	45	70	19	»	2+1+2	11	Fn. Pf. (Ic.)	11
♂	»	63+104	18	28	45	72	18	»	1+1+1	10	Fn. Pf. (Ic.)	10
♂	»	59+121	19	32	46	74	17	etwas über Augenhinterrand hinaus	3	10	Fn.	10
♀	»	55+95	15	29	42	76	17	zwischen Ohr und Auge	3	10	Fn. Pf.	—

Geschlecht	*Agama doriae cordofanensis* Fundort	Länge	Kopflänge	Vorderbein	Hinterbein	Schuppen um die Rumpfmitte	Schuppen auf einer Strecke des Rückens gleich der Entfernung von Schnauzenspitze und Occipitale (Hinterrand)	Hinterbein reicht bis	Schildchen am Hinterrande des Occipitale	Schildchen um das Occipitale	Frontonasale und Präfrontale unterscheidbar	Analporen
♀	Kadugli, 28./III. .	55+85	16	27	37	79	19	Ohrvorderrand	3	8	Fn.	—
♀	»	55+62+ ?	16	29	45	70	17	über Ohrvorderrand hinaus	5	10	Fn. Pf.	—
♂	Homra-Lebu, 31./III.	75+152	24	37	48	75	15	Ohrhinterrand	1+1+1	8	Fn. Pf. 2 F.	11
♂	Talodi, 4., 5./IV. .	70+reg.	20	35	50	76	18	Ohrmitte	1+1+1	9	Fn.	11
♂	» 4., 5./IV. .	70+ ?	20	37	54	68	15	zwischen Auge und Ohr	1+1+1	9	Fn. Pf.	10
♂	» 4., 5./IV. .	65+122	20	30	46	83	21	Ohrmitte	1+2+1	9	Fn. Pf.	11
♂	» 3./IV. . .	65+ ?	17	30	43	75	16	Ohrvorderrand	1—1+1	9	Fn.	9
♂	» 4./IV. . .	65+ ?	19	30	45	74	20	»	2+1+2	9	Fn. Pf. (Ic.)	9 vorn 2 hinten
♂	» 4., 5./IV. .	60+191	18	30	43	73	19	zwischen Ohr und Auge	1+3+1	10	Fn.	10
♂	» 3./IV. . .	57+ ?	17	28	42	82	19	Augenhinterrand	2+1+2	12	Fn.	11
♂	» 3./IV. . .	55+100	16	28	39	78	20	Ohrhinterrand	4	9	Fn.	9
♂	» 4., 5./IV. .	60+ ?	18	30	45	96	23	zwischen Ohr und Auge	5	12	Fn.	—
♀	» 4., 5./IV. .	60+ ?	18	27	42	88	16	Augenhinterrand	1+1+1	8	—	—
♀	» 4., 5./IV. .	57+90	18	29	43	72	17	Ohrvorderrand	4	12	Fn.	—
♀	» 3./IV. . .	55+105	16	29	40	80	22	»	2+1+2	9	Fn.	—
♀	» 4., 5./IV. .	55+86	17	30	43	80	22	zwischen Schulter und Unterkieferende	4	11	Fn. Pf. (Ic.)	—
♀	» 4., 5./IV. .	52+ ?	17	27	37	88	27	Ohrvorderrand	5	10	—	—
♀	Tanguru, 7./IV. . .	70+128	22	35	52	78	22	Augenhinterrand	3	9	Fn. Pf. (Ic.)	11
	Zum Vergleich:											
♂	*A. hartmanni* Taufikia	75+133	21	33	54	70	14	Ohrvorderrand	2+1+2	12	—	—

zur Ohröffnung; eine wellenförmige, mehr oder weniger unterbrochene dunkle Längslinie an jeder Seite des Rumpfes. Kehle und Brust des ♂ weiß, blaugrau retikuliert; ein großer tintenschwarzer Fleck am Vorderrande der vorderen Kehlfalte; Schwanzspitze nicht dunkel gefärbt.

Totallänge 250 *mm*, Kopfrumpflänge 90 *mm*.

Fundort Sennaar; an Baumstämmen und auch auf dem Erdboden im Akazienwald am rechten Ufer des Blauen Nils nicht selten. Das vollständige Fehlen der prachtvollen Färbung der Oberseite, die das ♂ von *colonorum* bei Sonnenschein sehen läßt, genügt allein, um diese Art als vollständig von *colonorum* verschieden zu erkennen, um so mehr als diese letztere in ihrem ganzen großen Vorbereitungsgebiete sehr konstant in ihrer Färbung ist.

Diese Unterart hat eine gewisse Ähnlichkeit mit *A. cordofanensis* durch den schwarzen Kehlfleck, die dunklen Postokularlinien und den Mangel der Prachtfärbung des ♂, namentlich sind jüngere Tiere einander sehr ähnlich; der Schwanz ist aber wie bei *A. colonorum* beim ♂ stark seitlich kompreß und besitzt sogar einen höheren Schuppenkamm als diese; es fehlt auch die lebhaft rote Färbung der Kehle hinter dem schwarzen Kehlfleck, die Färbung ist stets verschieden (mehr grau, *cordofanensis* stets schön rot- oder gelbbraun) und schließlich ist *A. sennariensis* wie *colonorum* eine Baumagame, während *cordofanensis* wie ihre nordafrikanischen Verwandten stets auf dem Boden lebt.

Von Peters wird die Agame von Sennaar als *A. colonorum* beschrieben, von Barbour aber gar für *A. spinosa* gehalten. Ist schon die Verwechslung mit der Siedler-Agame nach den oben angegebenen Merkmalen schwer einzusehen, so ist der Irrtum Barbour's überhaupt unbegreiflich, auch wenn man in Berücksichtigung zieht, daß nach seiner eigenen Angabe überhaupt wenig Reptilienmaterial aus dem Gebiete in amerikanischen Museen zum Vergleich vorliegt und er augenscheinlich auch keine *spinosa* gesehen hat. Von dieser Art unterscheidet sich aber *sennariensis* durch die kurzen Stachelschuppen in der Ohr- und Halsgegend sowie durch die verschiedene Färbung und geringere Größe schon auf den ersten Blick.

Daß Barbour wirklich die *sennariensis* für *spinosa* gehalten hat, geht aus zweien seiner Bemerkungen hervor (größtes Exemplar 200 *mm*, obwohl ein Teil des Schwanzes fehlt); das paßt auf die *A. sennariensis*, nicht aber auf *A. spinosa*, die an Größe der *A. colonorum* nichts nachgibt. Dann vergleicht er die Färbung mit der von *A. hartmanni*, was unerklärlich wäre, wenn er wirklich *A. spinosa* vor sich gehabt hätte, da diese in keinem Altersstadium der *hartmanni*, wohl aber der *colonorum* vergleichbar ist. Daß er dem Vorhandensein eines großen Occipitale besondere Bedeutung zuschreibt, ist vermutlich daraus zu erklären, daß er das Fehlen eines solchen als charakteristisch für *hartmanni* ansieht, was aber durchaus nicht der Fall ist.

In der ersten Beschreibung wäre noch folgendes hinzuzufügen: Die Zahl der Supralabialia beträgt 9—12 (übrigens nach meiner Ansicht ganz bedeutungslos, da bei allen verwandten Arten in den gleichen Grenzen variierend); eine flach bogenförmige (nach oben konkave) Reihe vergrößerter Schuppen zwischen Orbita und Oberlippenschildern ist deutlich bemerkbar und meist sehr hell (fast weiß) gefärbt. Die dunkle Nackenlinie ist bei den alten Exemplaren ebenso wie der Postorbitalstreifen hell gesäumt; erstere biegt in eine dunkle Linie auf dem oberen Augenlid um, letztere setzt sich in die Wellenlinie an der Seite des Rumpfes fort.

Auffällig ist bei dieser wie bei den zwei verwandten Arten die geringe Zahl der ♀♀ in meiner Ausbeute; hier nur 2 gegen 7 ♂♂; bei *cordofanensis* 13 gegen 26 ♂♂; bei *colonorum* 11 gegen 25 ♂♂.

Das erwachsene ♂ von *A. sennariensis* verbreitet, frisch gefangen, einen starken Moschusgeruch, ähnlich manchen Boiden; er teilt sich auch noch dem Alkohol mit, in dem es konserviert ist. Bei den anderen Sudan-Arten habe ich ihn nicht beobachtet.

Geschlecht	*Agama doriae sennariensis* Fundort	Länge	Kopflänge	Vorderbein	Hinterbein	Schuppen um die Rumpfmitte	Schuppen auf einer Strecke des Rückens gleich der Entfernung von Schnauzenspitze und Occipitale (Hinterrand)	Hinterbein reicht bis	Schildchen am Hinterrande des Occipitale	Schildchen um das Occipitale	Frontonasale und Präfrontale unterscheidbar	Analporen
♂	Sennaar, 21./II. .	95+160	25	45	65	71	13	Ohrvorderrand	1+1+1	10	Fn.	10
♂	»	95+115+ ?	27	47	67	68	11	Ohrhinterrand	1+2+1	?	Fn. Pf.	10 { vorher 4, dahinter 5
♂	» 22./II. . .	90+161	25	44	63	72	16	Ohrvorderrand	2+1+2	10	Fn.	8
♂	» 20./II. . .	80+141	24	40	60	77	14	»	1+1+1	10	Fn. Pf.	8
♂	» 23./II. . .	80+reg.	22	40	60	74	13	Augenhinterrand	2	8	Fn. Pf. (klein)	10
♂	» 23./II. . .	65+122	20	35	52	74	15	»	1+1+1	10	Fn. Pf. (klein)	8
♂	» 20./III. . .	60+112	19	31	47	75	18	zwischen Ange und Ohr	1+1+1	10	Fn. Pf. (lc.)	10
♀	» 20./III. . .	64+106	19	34	48	77	17	Augenhinterrand	3	9	Fn. Pf. (lc.) (gleich groß)	—
♀	» 20./III. . .	61+106	18	31	44	76	18	»	2	9	Fn. Pf.	—

Agama colonorum Daud. (Taf. I, Fig. 3, 3*a*, und Tabelle p. 50—51).

Werner. l. c. p. 1839; Third. Rep. Wellc. Res. Lab. Gordon Mem. Coll. Khartoum 1908, p. 169.
Sternfeld, Erg. D. Zentral-Afrika-Exp. 1907—1908, Bd. IV. Zool. II. Lief. 9, p. 207 (1912) u. Erg. 2. D. Zentral-Afrika-Exp. 1910—1911, Bd. I. Zool. Lief. 11, p. 422 (1917).

Diese Eidechse ist in Kordofan und Nubaland überaus häufig, und wenn man auch nur für wenige Stunden bei Tage ein Lager aufschlägt, kann man mit großer Sicherheit erwarten, in der Nähe irgendwo wenigstens ein Exemplar zu sehen. namentlich dann, wenn sich (auch kleine) Felsen aus dem Alluvialboden erheben, Als nördlichsten Ort ihres Vorkommens habe ich El Obeid feststellen können, wo sie auf Gartenmauern in Menge sich zu sonnen pflegt. Aber auch mitten in der Stadt habe ich sie an alten Mauerresten häufig angetroffen. An weiteren Fundorten habe ich verzeichnet: Twischen Umm Ramad und Nubbaka; Nubbaka; Nubbaka-Sungikai; Sungikai; Dilling; Gulfan-Keiga Zummero; Kadugli; Gebel Semma und Gebel Rihal bei Kadugli; Talodi (Gebel Talodi); Tanguru. Nach Süden wird *A. colonorum* seltener, namentlich im Vergleich zu *A. doriae*; südlich von Tanguru habe ich überhaupt keine *Agama* mehr gesehen. Im Inundationsgebiet des Weißen Nils fehlt sie, ebenso am unteren Bahr-el-Gebel; sie kommt aber im Bahr-el-Ghazal-Gebiet vor (Heuglin, Wenyon) sowie am oberen Bahr-el-Gebel (Bor, Mongalla, Gondokoro: Werner) und am oberen Sobat (O. Neumann). Überall, wo diese Art vorkommt, lebt sie an Felsen, auf Bäumen und im Stroh der Negerhütten, während die mit ihr an vielen Orten zusammenlebende *A. doriae cordofanensis* eine Bodenagame ist, etwa wie die nordafrikanische *A. inermis.*

Agama colonorum ist bei weitem die größte Agame des inneren Sudan; alte, starke ♂♂ erreichen fast 30 *cm* Länge (♂ von Kadugli mit 110 + 188 *mm*) alte ♀♀ 24 *cm* (♀ von El Obeid mit 104 + 136 *mm*). Die Schwanzlänge ist, wie man aus der Tabelle ersieht, recht variabel, die Körperlänge ist in ihr (1·24) 1·4—1·71 mal beim ♂, 1·14—1·31 (—1·53) mal beim ♀ enthalten. Schwanzregenerate sind nicht eben selten, in dem vorliegenden Material von 33 Exemplaren bei 4 Exemplaren; sie sind, wie dies auch Sternfeld angibt, gegen das Ende etwas keulenförmig angeschwollen, am Ende abgerundet.

In der Pholidose fällt vor allem das ausnahmslose Vorkommen einer in der Schnauzenmitte gelegenen, länglichen, mehr oder weniger deutlich gekielten Schuppe auf (mitunter noch eine zweite dahinter), die bei *A. doriae* fehlt oder weit kürzer und von den angrenzenden wenig verschieden ist. Das Nasale trägt das Nasenloch im hintersten Teile und dieses ist ausgesprochen superolateral oder sogar mehr nach aufwärts als seitwärts gerichtet, während es bei *A. doriae* in dem meist etwas kürzeren Nasale rein lateral steht. Die Form des Interparietale (Occipitale der Autoren, aber nach der Lage des Parietalauges dem Interparietale der Lacertiden, Scinciden etc. homolog) ist recht variabel, ebenso die Zahl, Größe und Form der herumgelagerten Schildchen, von denen ein Paar größeres dahinter gelegener und ausnahmsweise (3 Exemplare) noch in Kontakt stehender Schildchen als Parietalia bezeichnet werden können.

Auffällig ist, daß bei allen Exemplaren aus El Obeid und mehreren aus Südkordofan das Interparietale vorn einen oder zwei nach hinten gerichtete Einschnitte aufweist. Bei den zahlreichen Exemplaren von Kadugli ist dies niemals zu sehen.

Die Zählung der Schuppenreihen um die Körpermitte ist nur mit Bedenken als Grundlage für Scheidung geographischer Rassen verwendbar, da schon bei geringer Verschiebung der Zählung nach vorn oder hinten das Ergebnis sich verändern und eine genaue Stelle für die Zählung nicht fixiert werden kann. Ebenso ist auch die als Kontrolle von mir versuchte Zählung der Schuppen in der Längsrichtung der Rückenmitte auf einer Strecke gleich der Entfernung von der Schnauzenspitze zum Hinterrande des Interparietale (wie dies ähnlich Boulenger bei *Sceloporus* und anderen Iguaniden mit Erfolg getan hat) deswegen nicht sehr verläßlich, weil Größe und Anordnung der Schuppen an beiden Seiten des Körpers und auf geringen Strecken sehr schwanken kann. Immerhin ergeben sich

im Durchschnitt für die Exemplare aus El Obeid ein wenig niedrigere Zahlen (63, beziehungsweise 13) als für Südkordofan und die Nubaprovinz (68—69, beziehungsweise 14—15).

Die Prachtfärbung erwachsener ♂♂ stimmt ganz mit derjenigen überein, die ich von Exemplaren aus Gondokoro beschrieben habe, so daß ich darüber nichts weiter zu bemerken habe. Im Schatten oder gegen Abend verändert sich die Grundfärbung der Oberseite zu einem hellen Lederbraun, das entweder die ganze Oberseite umfaßt (mit kleinen, schuppengroßen dunkleren Flecken auf dem Rücken) oder es bleibt ein großer, nach hinten verblaßender Längsfleck an jeder Körperseite, von der Achselhöhle beginnend, erhalten, der violettbraun ist mit etwas Metallschimmer; in diesem Falle ist die Rückenmitte zu gelblichweiß aufgehellt.

Die Färbung der erwachsenen ♀♀ ist entweder derjenigen von Gondokoro entsprechend, mit blaßgelbem, breitem, welligem Seitenband (El Obeid) oder aber bei ziemlich dunkel-nußbrauner Grundfärbung entweder mit mehr oder weniger deutlichen Augenflecken geziert (wobei die jugendliche Fleckenzeichnung vom Kopf und Nacken noch erhalten bleibt) oder es können diese Zeichnungen verblassen und am Kopf ganz verschwinden, während am Rücken vereinzelte dunkelbraune Flecken mit breitem, sehr undeutlichem Hof erhalten bleiben. Solche ♀♀ finden sich vorwiegend in der Nuba-Provinz.

Junge Exemplare habe ich diesmal ebenso wenig gesehen, wie auf meiner früheren Reise. Die Eiablage dürfte bei Beginn der Regenzeit erfolgen und die kleinsten gesehenen Exemplare (etwas über 6 *cm* Kopfrumpflänge) vorjährig und etwa 9 Monate alt sein.

In den meisten daraufhin untersuchten Exemplaren dieser und der vorhergehenden Art fand ich große Mengen großer schwarzer Ameisen, von denen anscheinend die sehr harten Köpfe unverdaut bleiben. Nur ein ♂ aus El Obeid hatte den Magen mit Stücken gurken- oder kürbisartiger Früchte angefüllt. Im Darm eines ♂ aus El Obeid fand ich eine Tänie: *Oochoristica truncata* Krabbe, die bisher nur aus der zentralasiatischen *A. sanguinolenta* Pall. bekannt war.

Varanidae.

Varanus griseus Daud.

Werner, Sitz. Ber. Ak. Wiss. Wien, Bd. CXVI, 1907 (1908), p. 1841.

Ich erhielt ein erwachsenes Exemplar, ♂ (380 + 525 *mm*) in Port Sudan. Kehle dunkel getüpfelt. Die Art ist von der Küstenprovinz bereits durch Anderson (aus Suakin und Tokar) bekannt geworden.

Varanus ocellatus Rüpp.

Werner, l. c. p. 1842.

Leider konnte ich von dieser Art, deren Type aus Kordofan stammt, daselbst kein Exemplar erlangen. Ich fand bei Sungikai in Südkordofan nur ein angebranntes Stück Schwanz dieser Art, das jedenfalls einst von einer Mahlzeit übriggeblieben war.

Varanus niloticus L.

Werner, l. c. p. 1843.

Auch diese Art fand ich in Kordofan nicht, erhielt aber in Talodi ein Stück Haut eines kleinen Exemplares, das aus dem Sumpfgebiete (Khor Kheilak) in der Umgebung stammte. Es hat 134 Schuppen um die Rumpfmitte.

Lacertidae.

Acanthodactylus boskianus Daud.

Werner, Sitz. Ber. Ak. Wiss. Wien, CXVI, 1907 (1908), p. 1845.

Ein Exemplar (♂) von Umm Ramad, Südkordofan (15./III.), durch einen Schrotschuß von Dr. v. Wettstein erbeutet, daher stark verletzt. 12 Schuppenreihen zwischen den Hinterbeinen; 19 Femoralporen. Oberseite einfarbig blaßbraun, mit deutlichem Goldschimmer.

Geschlecht	*Agama colonorum* Fundort	Länge in *mm*	Schuppenreihen um die Mitte	Analporen	Schildchen hinter dem Interparietale	Schuppen um das Interparietale	Vorderrand des Interparietale mit Einschnitten	Zahl der Schuppen auf einer Strecke des Mittelrückens gleich Entfg. Schnauzenspitze bis Hinterrand des Interparietale	Kopflänge	Vorderbein	Hinterbein	Hinterbein erreicht	Färbung
♂	El Obeid, 3./III. .	110+165	61	10	1+1+1	10	1	13	30	50	69	Hinterende des Unterkiefers	
♂	» » 3./III. .	105+165	61	10	1+1+1	11	1	12	30	48	67	Vorderrand der Ohröffnung	
♂	» » 10./III. .	100+160	65	10	1+1+1	10	2	16	29	44	66	Hinterrand der Ohröffnung	
♂	» » 3./III. .	100+150	67	10	1+1+1	10	1	15	26	45	63	etwas über Ohröffnung hinaus	
♂	» » 3./III. .	100+72 (reg.)	63	10	1+3+1	14	1	16	30	46	66	Hinterrand der Ohröffnung	
♀	» » 3./III. .	104+136	63	—	1—1+1	9	1	11	27	46	60	Schulter	
♀	» » 3./III. .	102+129	65	—	1+2+1	12	1	11	27	45	58	»	undeutlich begrenzte dunkle große Flecke; blaßgelbe Flecke, ein breites, unregelmäßiges Latendband bildend.
♀	» » 12./III. .	90+135	63	—	1+1+1	9	1	12	30	40	60	»	undeutlich begrenzte große dunkle und blaßgelbe Flecken auf Rücken und Seiten. Diese beiden Exemplare gleichen sehr aus Gondokoro.
♀	Nubbaka	72+128	75	—	2+1+2	14	1	18	22	35	54	Ohrhinterrand	
♂	Nubbaka-Sungikai, 18./III.	80+148	69	8	2	11	2	15	22	38	55	»	
♂	Sungikai, 19./III. .	90+110 (reg.)	65	10	1+2+1	10	—	17	25	41	65	Hinterende des Unterkiefers	
♂	» 19./III. .	80+135	63	12	1+2+1	10	—	14	20	40	55	Ohrvorderrand	
♂	Dilling	110+175	69	11	2+2	11	2	12	31	50	73	Augenhinterrand	
♂	»	105+162	71	12	2	7	—	13	31	50	72	Ohrvorderrand	Brust schwarz marmoriert; Schwanzende geringelt, nicht schwarz.
♂	»	95+ ?	67	10	1+1+1	9	—	15	30	48	72	Augenhinterrand	
♀	»	104+134	63	.	2	7	—	12	28	42	61	Schulter	
♂	Gulfan-Keiga-Tummero, 28./III. . .	105+147	65	10 (11)	1+1+1	14	2	12	30	47	67	Ohrhinterrand	
♀	»	72+ ?	73	.	1+1+1	11	2	19	23	38	56	Augenmitte	

Geschlecht	*Agama colonorum* Fundort	Länge in *mm*	Schuppenreihen um die Mitte	Analporen	Schildchen hinter dem Interparietale	Schuppen um das Interparietale	Vorderrand des Interparietale mit Einschnitten	Zahl der Schuppen auf einer Strecke des Mittelrückens gleich Entfg. Schnauzen-Spitze bis Hinterrand des Interparietale	Kopflänge	Vorderbein	Hinterbein	Hinterbein erreicht	Färbung
♂	Kadugli, 24./III. .	110+188	72	10	1+1+1	9	—	15	30	51	72	Mitte des Ohres	
♂	» (Gebel Rihal) 29./III. .	110+165	61	10	1+3+1	11	—	14	33	52	77	Vorderrand d. Ohres	
♂	Kadugli	110+155	59	9 (10)	3	11	—	12	35	54	68	Hinterrand d. Ohres	
♂	»	110+137	71	8	1+2+1	?	—	13	32	54	78	Vorderrand d. Ohres	
♂	» 28./III. . .	105+ ?	77	9	2+1+2	11	—	13	32	51	71	»	Zwei helle Nackenstreifen (Rest des Jugendkleides); Rücken sehr hell; Schwanz oben gefleckt.
♂	»	105+117 (reg.)	63	9*	1+2	9	—	15	30	51	71	»	
♂	»	100+152	69	9	1+2+1	11	—	14	27	46	66	Mitte des Ohres	
♂	»	100+ ?	65	9	1+1+1	7	—	13	29	50	70	Mundwinkel	
♂	»	95+350	75	10	2+1+2	14	—	15	28	45	65	Vorderrand d. Ohres	
♂	»	90+118 (reg.)	61	9	1+1+1	10	—	14	26	46	64	zwischen Ohr und Auge	
♂	»	87+ ?	65	10 (11)	1+1+1	8	—	15	27	43	65	Hinterrand d. Auges	
♂	» (Gebel Semma) 28./III. .	77+120	65	10	6	14	—	15	23	42	57	»	
♀	Kadugli, 28./III. .	95+145	73	—	1+2+1	10	—	14	57	48	63	Vorderrand d. Ohres	Jugendliche Kopf- und Halszeichnung erhalten; sehr dunkelbraun; ein ʎförmiger Feck zwischen den Augen; deutliche Ocellen auf Rücken und Seiten.
♀	»	86+98	71	—	1+2+1	10	—	14	27	43	59	Hinterrand d. Ohres	Jugendliche Kopfzeichnung erhalten; dunkelbraun mit dunklen und gelblichen Flecken.
♀	»	68+ ?	73	8	1+1+1	9	—	13	22	30	49	Vorderrand d. Ohres	Kehle mit dunklen Linien.
♀	»	67+ ?	73	—	1+2+1	11	—	15	20	33	49	»	Jugendzeichnung noch erkennbar.
♂	Talodi	75+140	73	—	1+1+1	9	—	16	23	39	57	Augenmitte	
♀	Tanguru	85+105	75	—	1+1+1	8	—	15	25	42	60	Ohrvorderrand	Gelbliche Querbinden des Rückens und ein welliges Seitenband jederseits. Spur der jugendlichen Kopfzeichnung.

Kopfrumpflänge	colonorum								sennariensis								cordofanensis							
	♂				♀				♂				♀				♂				♀			
	Schwanzlänge	Kopflänge	Länge des Vorderbeins	Länge des Hinterbeins	Schwanzlänge	Kopflänge	Länge des Vorderbeins	Länge des Hinterbeins	Schwanzlänge	Kopflänge	Länge des Vorderbeins	Länge des Hinterbeins	Schwanzlänge	Kopflänge	Länge des Vorderbeins	Länge des Hinterbeins	Schwanzlänge	Kopflänge	Länge des Vorderbeins	Länge des Hinterbeins	Schwanzlänge	Kopflänge	Länge des Vorderbeins	Länge des Hinterbeins
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
110	155-185	30–35	50–54	68–78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
105	147-162	30–32	47–51	67–72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
104	—	—	—	—	134-136	27–28	42–46	60–61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
102	—	—	—	—	129	27	45	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	150-160	26–30	44–50	63–70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	151	24	43	58	—	—	—	—
95	145-150	27–30	45–48	63–72	—	—	—	—	160	25–27	45–47	65–67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90	?	25–26	41–46	64–65	135	30	40	60	161	25	44	63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
87	?	27	43	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
86	—	—	—	—	98	27	43	59	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
85	—	—	—	—	?	25	42	60	—	—	—	—	—	—	—	—	?	21	38	53	—	—	—	—
80	135-146	20–22	38–40	55	—	—	—	—	141	12–24	40	60	—	—	—	—	153	22	36	53	?	22	30	45
77	120	23	42	57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	140	23	39	57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	129-152	20–24	31–37	48–58	—	—	—	—
72	—	—	—	—	128	22–23	35–38	54–56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	134-139	20–22	32–38	49–54	—	—	—	—
68	—	—	—	—	?	22	30	49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
67	—	—	—	—	?	20	33	49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
65	—	—	—	—	—	—	—	—	122	20	35	52	—	—	—	—	122	17–21	30–32	43–46	?	19	30	45
64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	106	19	34	48	—	—	—	—	—	—	—	—
63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	104	18	28	45	—	—	—	—
61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	106	18	31	44	—	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	101	18	30	43–45	?	18	27–30	42–45
59	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	121	19	32	46	—	—	—	—
57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	102	17–18	27–28	42–50	90	18	29	43
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	95–100	16–17	28	39–40	85–100	15–17	27–30	37–45

Zwischen Umm Ramad und Sungikai ist wenigstens die herpetologische Grenze zwischen paläarktischer und aethiopischer Region anzusetzen. *Acanthodactylus boskianus* und *Chalcides ocellatus* verschwinden von hier ab vollständig und nach einer ziemlich indifferenten Region treten bei Sungikai die beiden echt südkordofanischen Arten *Agame doriae kordofanensis* und *Mabnia perroteti* v. *mongallensis* auf.

Acanthodactylus boskianus habe ich auch in Bara in Nordkordofan in einem Garten gesehen.

Eremias guttulata Licht.

Werner, l. c. p. 1847.

Mehrere Exemplare fing ich bei einer Exkursion in das Hinterland von Port Sudan, wo diese Art in der steinigen Wüste nicht selten war. Das größte ist 41 + 104 *mm* lang. Femoralporen sind 11 bis 12 vorhanden; das große Analschild ist von 7 bis 8 kleinen Schildchen oder Schuppen umgeben. Auch im Volksgarten von Port Sudan häufig.

Eremias mucronata Blanf.

Werner, l. c. p. 1846.

Von dieser schönen und zierlichen Wüsteneidechse erlegte Herr Dr. v. Wettstein zwei Exemplare durch Schrotschüsse; sie sind daher ziemlich stark beschädigt. Das eine Exemplar mißt 35 + 110 *mm*; Femoralporen 16; Analschildchen $\frac{2}{2}$; Suboculare zwischen dem sechsten und siebenten Supralabiale, scharf gekielt, weit vorspringend; 5 bis 6 vergrößerte Kehlschilder, die ersten 2 bis 3 im Kontakt. Das zweite Exemplar ist 41 + 89 *mm* lang, besitzt 16—15 Femoralporen, ein großes Anale, das von sieben kleinen Schildchen rundherum umgeben ist; das Suboculare liegt zwischen dem sechsten und siebenten oder siebenten und achten Supralabiale. Vier vergrößerte Kehlschilderpaare, das vierte sehr groß, die beiden ersten median in Berührung. — Fundort: Khor Okwat bei Port Sudan.

Färbung und Zeichnung stimmen völlig mit der schönen Abbildung Anderson's überein (Taf. XXIII, Fig. 1 bis 2). Die Art ist im Sudan ausschließlich in den Küstenstrichen des Roten Meeres zu Hause.

Mabuia quinquetaeniata Licht.

Werner, l. c. p. 1851 und Third Report Wellc. Res. Lab. Gordon Mem. Coll. Khartoum, 1908, p. 169.
Sternfeld, Ergeb. 2. Deutsch-Zentral-Afrika-Exp. 1910—1911, Bd. I. Zool. Lief. 14, Leipzig 1917, p. 433.

Da Sternfeld die in Afrika weitverbreitete Art in eine Anzahl von Unterarten aufgespalten hat, die von mir mitgebrachten Exemplare aber in keine derselben hineinpassen, so will ich sie unter dem obigen Namen zusammenfassen, der Übergang von der ägyptischen Unterart zu der eigentlich tropischen Form ist ein recht allmählicher.

Wir können wieder fünf Gruppen im Sudan unterscheiden, von denen vier von der ägyptischen sich eigentlich nur durch die wenig oder gar nicht gefleckte Kehle des ♂ unterscheiden und daher der subsp. *langheldi* Sternf. von Nordkamerun am nächsten stehen:

1. Die Form von Sennaar: Sq. 36—40; Supraciliaria 6—7; Auricularschüppchen 3—5; Kehle des ♂ gefleckt. Steht der ägyptischen Form am nächsten, vielleicht mit ihr identisch.

2. Die Form von Nordkordofan; Sq. 32—34; Supraciliaria 4—6; Ohrschüppchen 3—5; Kehle des ♂ ungefleckt. Damit ist identisch

3. Die Form von Südkordofan; Sq. 32—36; Supraciliaria 5—7; Ohrschüppchen 3—5; Kehle des ♂ ungefleckt.

4. Die Form des Nubalandes; Sq. 38—42; Supraciliaria 4—6; Ohrschüppchen 2—6; Kehle des ♂ ungefleckt.

5. Die Form des oberen Nilgebietes; Sq. 38—42; Supraciliaria 5—6; Auricularschüppchen 3—5; Kehle des ♂ stark gefleckt (Mongalla) oder ganz schwarz (Wau). Diese Form scheint sich von der ägyptischen nur durch bedeutendere Größe zu unterscheiden; erwachsene ♂♂ sind 95—100 *mm* lang (Totallänge 233—255 *mm*).

Die Sudan-*quinquetaeniata* zerfallen also eigentlich nur in drei oder vier Rassen; eine, die von Kordofan, ist morphologisch durch sehr geringe Schuppenreihenzahl (32 bis 34, ausnahmsweise 36) sehr gut charakterisiert; die Zahl 34 kommt nur noch bei subsp. *scharica* Steinf., die Zahl 32 aber bei gar keiner anderen Subspecies vor; durch die wenig oder nicht gefleckte Kehle des ♂ ist sie von *scharica* sofort zu unterscheiden; sie verdient einen eigenen Namen: *cordofana* n. subsp. — Die zweite Rasse (Nubaberge) steht der subsp. *langheldi* von Kamerun, die aber meist nur 36 Schuppenreihen hat, nahe; es ist dies die subsp. *nubarum* n. — Die dritte Rasse zerfällt in die nördliche kleine *q. quinquetaeniata* Licht. und die größere, aber in der Färbung nicht verschiedene *q. aequatorialis* n.

Über diejenigen morphologischen Merkmale, die der Variation am meisten unterliegen, gibt die beigegebene Tabelle Aufschluß.

Mabuia quinquetaeniata ist innerhalb der Grenzen ihres Verbreitungsgebietes, soweit wir den Sudan bereist haben, eine überaus häufige Art und es kommt ihr an Häufigkeit von allen Eidechsen nur noch *Agama colonorum* gleich; daher ist kaum von einem Orte, an dem wir bei Tage längere Zeit verweilen konnten, in der Tabelle nicht wenigstens ein Stück verzeichnet, freilich leider verhältnismäßig nur wenige der überaus flinken und dabei vorsichtigen Männchen. Sie ist in den Dörfern, namentlich in den Strohhütten (Tukuls) der Neger, ebenso regelmäßig anzutreffen, wie im Freien am Felsen, größeren Bäumen oder unter Baumstrünken. Obwohl die südlichsten Kordofanexemplare, die zur Untersuchung vorlagen, von Tanguru am Fuße des Gebel Eliri stammen, habe ich diese Eidechse auch noch bei Bir Joghan (8./IV.), etwa 9° 50′ n. Br. beobachtet, in der Savanne und dem Überschwemmungsgebiet des Bahr-el-Abiad aber bestimmt nicht mehr. Andrerseits ist sie mir in Bara selbst nur mehr selten untergekommen, trotz der günstigen Lebensbedingungen in den Gärten, dagegen noch häufig bei unserer Raststation bei Taragaia.

Mabuia perroteti. D. B. subsp. **mongallensis** Wern.

Werner, l. c. p. 1850, Taf. I, Fig. 2 *(mongallensis)*.

Steinfeld, in Ergeb. Zweit. Deutsch. Zentral-Afrika-Exp. 1910—1911, Bd. I, Lief. 11, Leipzig 1917, p. 432.

Sternfeld ist völlig im Recht, wenn er meine *M. mongallensis* mit der westafrikanischen *perroteti* identifiziert und es ist mir die völlige Übereinstimmung sofort aufgefallen, als ich von meinem Karawanenführer Osman das erste und einzige erwachsene Exemplar am Gebel Keiga Tummero in Kordofan (Nubaprovinz) erhielt, das nach allen wesentlichen Merkmalen (ungekielte Subdigitallamellen, auch völlig in der Färbung gleich) als *perroteti* anzusprechen war, aber freilich keine Nuchalia besaß. Unter den jüngeren Exemplaren finden sich aber einige, die ein Paar deutlicher Nuchalia oder, wie auch Sternfeld beobachtete, nur auf einer Seite ein Nuchale, dasselbe auf der anderen Seite aber längshalbiert besaßen.

Mabuia perroteti ist in Südkordofan und im Nubalande nicht eben selten, wenngleich viel weniger häufiger als *quinquetaeniata* und wurde von Sungikai bis Bir Joghan, also gerade eine Tagesreise von den Dillingbergen bis eine Tagesreise hinter dem Gebel Amira beobachtet, so daß sie eigentlich nur wenig über das Gebiet der Nubaprovinz hinausgeht. Ich habe sie aber weder mehr im Gebiet des Weißen Nils bei Tonga, wo wie bei Khor Attar nur *striata* (auch nicht *quinquetaeniata*) vorkommt, angetroffen, noch von ihrem Vorkommen in der Gazellenfluß-Provinz (wo sie aber doch noch gefunden werden wird) und am Ostufer des Weißen Nils Kenntnis; ihre Verbreitung nach Süden stimmt also nicht ganz mit der von *Agama colonorum* überein, die nicht nur in Kordofan weiter nach Norden verbreitet (bis El Obeid), sondern auch im Bahr-el-Ghazal-Gebiet sicher nachgewiesen

Geschlecht	*Mabuia quinquetaeniata* Fundort	Kopfrumpflänge	Schwanzlänge	Kopflänge und -breite	Schuppen um die Mitte	Supraciliaria	Auricularschüppchen	Praefrontalia in Kontakt mit Supraoculare II	Parietalia in Kontakt hinter dem Interparietale	Hinterbein erreicht	Sonstige Bemerkungen
♂	Sennaar, 26./II. . .	78	128	18 × 11·5	37	7—7	5—5	—	—	etwas über Ellbogen hinaus	Kehle schwarz gefleckt.
♀, j.	» 25./II. . .	51	91	13 × 7·5	38	6—6	3—4	C.[1]	—	Ellbogen	
j.	» 25./II. . .	50	87	12 × 7	40	6—6	3—3	C.	×[1]	Achselhöhle	
j.	» 25./II. . .	50	reg.	13 × 8	38	6—6	3—3	C.	—	»	
j.	» 25./II. . .	48	78	11 × 7	36	7—6	4—3	C.	—	»	
♀	Bara, 6.—8./III. . .	75	114	17 × 10·5	32	6—6	5—4	C.	—	»	
♂	Taragaia, 5./III. . .	85	115	18 × 12·5	34	7—6	5—4	l. —, r. C.	—	Ellbogen	Kehle etwas gefleckt, seitlich, und ein schiefes dunkles Querband.
♀, j.	Taragaia, 5./III. . .	60	93	14 × 8	34	6—6	4—4	l. C., r. —	C.	zwischen Ellbogen und Handwurzel	Mittelstreifen beginnt erst zwischen den Schultern.
♂	El Obeid, 3./III. . .	85	?	17 × 11·5	34	6—6	4—4	C.	—	Ellbogen	
♀	» 11./III. . .	84	?	18 × 10	32	5—5	4—4	—	—	Handwurzel	
♀	» 3./III. . .	74	reg.	17 × 9	32	6—6	3—3	C.	C.	Ellbogen	
♀, j.	» 3./III. . .	55	?	13 × 7·5	34	4—6	4—3	l. C.	×	Achselhöhle	
♀, j.	» 13./III. . .	65	reg.	15 × 8·5	34	6—4	4—4	C.	—	zwischen Handwurzel und Ellbogen	
♂	Nubbaka, 17./III. . .	84	129	19 × 11·5	36	6—6	3—3	C.	C.	»	
♂	» 17./III. . .	84	?	19 × 11·5	32	5—6	4—4	C.	?	Ellbogen	
♀, j.	» 17./III. . .	60	84	14 × 9	34	5—5	4—4	C.	—	Achselhöhe	
♀, j.	» 17./III. . .	60	reg.	14 × 8	34	6—7	3—4	—	C.	Ellbogen	
♀, j.	Nubbaka - Sungikai, 18./III.	60	87	14 × 9	36	6—6	5—5	l. ×, r. —	—	»	
♂	Sungikai, 19./III. . .	88	reg.	20 × 12·5	34	6—6	3—4	C.	?	zwischen Handwurzel und Ellbogen	Kehle seitlich etwas gefleckt.
♀	Dilling	82	?	19 × 11	38	5—5	3—2	—	—	Handwurzel	
♀	»	75	reg.	15 × 12	38	6—?	5—4	—	C.	Handwurzel	trächtig. Frontoparietalia verschmolzen.
♀, j.	»	72	reg.	16 × 10	40	6—6	4—5	—	C.	Ellbogen	
♀, j.	»	60	?	14 × 8	40	6—6	4—4	—	C.	»	

[1] C = in Kontakt (r. rechts, l. links); × = nur mit der Spitze aneinanderstoßend

Geschlecht	*Mabuia quinquetaeniata* Fundort	Kopfrumpflänge	Schwanzlänge	Kopflänge und -breite	Schuppen um die Mitte	Supraciliaria	Auricularschüppchen	Praefrontalia in Kontakt mit Supraoculare II	Parietalia in Kontakt hinter dem Interparietale	Hinterbein erreicht	Sonstige Bemerkungen
♀, j.	Dilling.	56	104	14 × 8	38	6—6	3—4	×	?	Ellbogen	
♀, j.	»	55	80	13 × 7	38	6—6	5—5	—	×	zwischen Ellbogen und Achselhöhle	
♂	Gulfan, 24./III. . .	80	?	18·5 × 10·5	40	6—6	4—3	—	—	Ellbogen	rechtes Praefrontale zum Teil mit Frontale verschmolzen.
♀, j.	» 24./III. . .	58	?	15 × 8	40	6—6	4—4	—	C.	»	
♀, j.	» 24./III. . .	58	reg.	13 × 8	42	6—6	4—6	—	C.	Ellbogen	
j.	» 24./III. . .	42	75	16·5 × 6	40	6—6	2—2	×	C.	Schulter	
♀	Gulfan-Keiga-Tummero, 25./III. . .	77	reg.	17 × 10	42	6—6	4—4	—	?	Ellbogen	
♂	Debri, 26./III. . . .	85	130	19 × 11·5	40	6—6	6—6	—	C.	Handwurzel	
♀	» 26./III. . . .	84	?	17 × 11	41	5—4	4—4	r. —	×	zwischen Handwurzel und Ellbogen	
♀, j.	» 26./III. . . .	65	110	15 × 9	40	6—6	4—4	r. C., l. —	C.	Ellbogen	
♀, j.	» 26./III. . . .	60	?	15 × 9	40	5—5	4—5	C.	C.	»	
♀	Kadugli, 28.–29./III.	80	reg.	17 × 12	40	6—6	2—3	—	—	»	
♀	Kadugli, 28.–29./III.	67	?	17 × 10	38	5—6	?	C.	—	»	
♀	Kadugli, 28.–29./III.	58	97	14 × 8	40	6—6	3—3	×	—	Schulter	
♀, j.	Korrorak-Talodi, 1./IV.	70	reg.	16 × 8·5	38	6—5	4—4	—	×	zwischen Handwurzel und Ellbogen	
♀, j.	Korrorak-Talodi, 1./IV.	67	?	17 × 10	38	5—6	?	C.	—	Ellbogen	
♀, j.	Korrorak-Talodi, 1./IV.	58	97	14 × 8	40	6—6	3—3	×	—	Schulter	
♀	Talodi, 3./IV. . . .	80	?	16 × 12	40	6—6	4—5	—	C.	Ellbogen	
♀, j.	» 4.–5./IV. . .	52	reg.	13 × 8	38	6—6	3—4	—	—	Achselhöhle	
♂, j.	Tanguru, 7./IV. . .	65	100	15 × 10	42	6—6	4—4	l. —	C.	Ellbogen	

M. perroteti Fundort	Kopf+rumpf-länge	Schwanz-länge	Schuppen um die Mitte	Praefrontale in Kontakt mit Supraoc. II	Lamellen unter der vierten Zehe	Auricular-schüppchen	Supra-ciliaria	Hinterbein erreicht	Nuchalia	
ad. Keiga Tummero 25./III. . .	138	200	32	—	16	4—5	6—6	Handwurzel	0	
Sungikai 19./III.	48	?	34	C.	18	3—3	6—6	»	vorhanden	Nuchale verkürzt, etwa zwei Schuppenbreiten
»	49	?	32	C.	15	?—3	6—6	»	»	
Kadugli 28.—29./III.	53	91	34	C.	21	4—3	6—6	fünfte Finger	0	
»	53	reg.	34	C.	18	2—3	6—6	Ellbogen	0	
»	52	91	34	C.	17	5—4	6—6	Handwurzel	0	
Khor el Affin 31./III.	42	80	34	C.	18	4—?	6—6	Elbogen	links vorhanden	Nuchale links vorhanden, aber verkürzt (wie oben)
Talodi 4.—5./IV.	60	100	35	l. C.	17	4—3	6—6	Handwurzel	0	
» 3./IV.	68	?	32	r. C.	16	3—4	6—6	»	0	
El Egheibisch 6./IV.	49	?	34	C.	16	3—4	6—6	?	0	
»	47	80	34	C.	18	4—5	6—6	Handwurzel	0	
Bir Joghan 8./IV.	48	?	34	C.	18	4—4	6—6	Ellbogen	0	

ist. Das Fehlen beider Arten im unteren Bahr-el-Gebel-Gebiet ist durch die vollständig ungeeigneten Lebensbedingungen in diesem ungeheuren Sumpfgebiete vollständig erklärt.

Da die Längsteilung der Nuchalia bei der Sudanform nicht als Anomalie, sondern als regelmäßige und normale Erscheinung beobachtet wird, so möchte ich den Namen „*mongallensis*“ für diese Form als Subspecies doch beibehalten.

Junge Exemplare haben die 10 Schuppenreihen breite hellrotbraune Rückenzone in der Regel ohne irgend welche Zeichnung; auf der dunklen Seitenzone ist die typische Zeichnung der Art, bestehend aus weißen Flecken von Schuppengröße in Vertikalreihen mehr oder weniger deutlich erkennbar.

Ein junges Exemplar fand sich auch im Magen des neubeschriebenen *Elapechis laticinctus* aus Kadugli.

Daß *Mabuia raddoni* die Jugendform von *M. perroteti* sein soll, wie Tornier annahm, ist wohl nunmehr durch die gründliche Untersuchung von Lorenz Müller (Abh. K. Bayer, Ak. Wiss., II. Kl., XXIV. Bd., III. Abt. 1910, p. 568) völlig widerlegt. Auch das mir vorliegende Material der letztgenannten Art bestätigt diese Feststellung L. Müller's, denn die jungen *M. perroteti* gleichen den erwachsenen in allen morphologischen und Färbungsmerkmalen und haben keine Ähnlichkeit mit *raddoni.*

Bei dieser Gelegenheit möchte ich aber besonders auf den Umstand hinweisen, daß, wie *M. perroteti* beweist, die Jungen in bezug auf die Subdigitallamellen sich verschieden von den Erwachsenen verhalten und demnach als verschiedene Arten betrachtet werden könnten — ähnlich wie dies bei *M. brevicollis* tatsächlich geschehen ist.

Mabuia varia Ptrs.

Boulenger, Cat. Liz. III., p. 202.

1 Ex., jung, von Talodi, 3./IV.

Diese Eidechse ist neu für den Ostsudan. Ich sah und fing nur das eine junge Tierchen in der Abenddämmerung, und zwar in einem kleinen, mit kurzem Grase bewachsenen Graben, nicht weit von dem Orte Talodi, nachdem ich es schon an zwei vorhergehenden Abenden zur selben Zeit beobachtet hatte; auch am Fangtage war es schon so dunkel, daß ich die Eidechse nur mit Mühe unterscheiden konnte.

Bei der Kleinheit des Exemplars könnte auch die Möglichkeit in Betracht kommen, daß es sich um *M. wingatii* handelt. Jedoch sind die Sohlen ausgesprochen stachelig (auch die Subdigitallamellen sind scharf gekielt, was aber — wie wir bei *M. perroteti* gesehen haben — ein Jugendcharakter sein kann), das Suboculare ist nach unten deutlich verschmälert, das Frontonasale in Kontakt mit dem Frontale, das zweite der fünf Supraciliaria sehr lang, die Parietalia in Kontakt hinter dem Interparietale — durchwegs Merkmale, die auf *M. varia*„ aber nicht auf *wingatii* passen.

Von der abessinischen *M. rothschildi* unterscheidet sich das Exemplar dadurch, daß die Präfrontalia keine Mediannaht bilden, die Parietalia aneinanderstoßen, das Suboculare nach unten verschmälert ist und die Kiele der Rückenschuppen stark sind; auch sind die Subdigitallamellen dreikielig und die Färbung ist vollkommen verschieden.

Färbung dunkelbraun, Kopf heller; zwei weiße Längsstreifen auf jeder Seite; Bauch weiß (12 Schuppenreihen); dunkles Band am Bauchrand (1 Schuppenreihe), unterer weißer Längsstreifen (Oberlippe bis Hinterbein) ebenso breit; breites, dunkel geflecktes Seitenband (3 Schuppenreihen); oberer weißer Längsstreifen (1 Schuppenreihe); braunes, dunkel geflecktes Rückenband (6 Schuppenreihen).

Die *Mabuia varia* ist bisher noch niemals so weit nördlich gefunden worden; sogar aus Nord-Uganda ist mir kein Fundort bekannt.

Die Gruppe II der Gattung *Mabuia* in Boulenger's Katalog hat im Laufe der Zeit eine wesentliche Veränderung ihres Bestandes erlitten. Von den 10 hier eingeteilten Arten (Charakter: Unteres Augenlid mit großem, ungeteiltem durchsichtigem Fenster; Schuppen an den Sohlen scharf gekielt, stachlig) ist

M. isseli Ptrs. = *varia* Ptrs. (Tornier, Zool. Jahrb., Syst. XIII, 1900, p. 596).

M. varia Ptrs. unverändert verblieben.

M. bocagei Blngr. gleichfalls aufrecht zu erhalten.

M. chimbana Boc. = *striata* Ptrs. (Tornier, Werner).

M. punctulata Boc. wegen der vollkommen abweichenden Zeichnung von *striata* zu trennen.

M. striata Ptrs. unverändert; Sq. 32—40.

M. wahlbergi Ptrs. = *striata* Ptrs. (Boulenger, Pfeffer, Werner).

M. sulcata Ptrs. unverändert, wohl abgegrenzte Art.

M. hildebrandti Ptrs. anscheinend auch *M. varia* nahestehend; ob *M. hildebrandti* Wern. von D. S. W. Afrika = *M. varia* var. *longiloba* Hewitt damit identisch, ist nicht ganz sicher.

M. acutilabris Ptrs. sehr gute Art.

Dazu kommen noch:

M. ansorgii Blngr. Angola. (Ann. Mag. Nat. Hist. XIX. 1907, p. 212).

M. brauni Torn. D. O. Afrika. (Zool. Jahrb., Syst. XV, 1902, p. 585).

M. obsti Wern. Scheint *M. ansorgii* nahe verwandt. D. O. Afrika. (Mitt. Naturhistor. Mus. Hamburg, XXX, 1913, p. 43).

M. rothschildi Mocq. Vermutlich der *M. brevicollis* nahestehend. Abessynien. (Bull. Mus. Paris, 1905, p. 285).

Diese Arten wären in folgender Weise zu unterscheiden:

1\. Rückenschuppen zweikielig; keine Nuchalia . . . . *M. brauni*

Rückenschuppen 3- oder mehrkielig; Nuchalia vorhanden 2

2\. Suboculare stark verschmälert oder den Lippenrand nicht erreichend . . . 3

Suboculare wenig oder nicht verschmälert 9

3\. Auricularschüppchen sehr lang; Schuppen in 36—38 Reihen um die Rumpfmitte, die dorsalen 5kielig . . . . *M. bocagei*

Auricularschüppchen lang; Supralabialia winklig vorspringend, Zügelgegend tief gefurcht; Schnauze stark niedergedrückt; Schuppen 28—30 Reihen um die Mitte, 3kielig . . . . *M. acutilabris*

Auricularschuppen kurz, dreieckig 4

4\. Hinterbeine reichen bis zur Achsel oder darüber hinaus 8

Hinterbeine erreichen nicht die Achsel 5

5\. 30—32 Reihen von Schuppen um die Mitte; 6 Reihen dunkler viereckiger Rückenflecke; zwei helle Längsbänder an jeder Seite . . . . *M. punctulata*

32—42 Reihen von Schuppen um die Mitte 6

6\. Nasenloch vor der Aufwärtsverlängerung der Sutur zwischen Rostrale und 1. Supralabiale; 42 Schuppen um die Mitte; 2 Paare von dunklen Längsbinden auf dem Rücken, je ein Paar über den Schwanz zusammenfließend; ein Lateralband . . . . *M. ansorgii*

Nasenloch über oder hinter dieser gedachten Linie; Schuppen in 32—40 Reihen 7

7. Kopf und Rumpf wenig verbreitert; Oberseite mit 5 hellen Längsstreifen, die durch dunkle Querflecken leiterartig verbunden sind; Rückenschuppen kaum größer als Seitenschuppen . . . . *M. obsti*

Kopf und Rumpf breit und niedergedrückt; Rücken- und Seitenzone durch ein 2—3 Schuppenreihen breites helleres Band getrennt; niemals eine helle Medianlinie; Rückenschuppen deutlich größer als Seitenschuppen . . . . *M. striata*

8. Rückenschuppen 5kielig; Suboculare erreicht niemals die Oberlippe . . . . *M. sulcata*

Rückenschuppen 3kielig; Suboculare erreicht die Oberlippe . . . . *M. hildebrandti*

9. Frontale berührt das 2. und 3. Supraoculare; Suboculare nach unten verschmälert; Internasalia hinter dem Rostral in Berührung; Oberseite braun, jederseits mit zwei hellen Längsstreifen . . . . *M. varia*

Frontale berührt das 1. bis 3. Supraoculare; Suboculare nach unten nicht verschmälert; Internasalia durch das Frontonasale getrennt; Oberseite schwarz mit 6 Reihen heller runder Flecken . . . . *M. rothschildi*

Von den seit Boulenger's Katalog neu beschriebenen afrikanischen *Mabuia*-Arten ist *M. batesii* Blngr. = *Lygosoma laeviceps* (nach L. Müller); *M. benitensis* Blngr. = *raddoni* Gray (nach Boulenger), *M. viancinii* Mocq. = *buettneri* Mtsch. (nach Boulenger) auszuscheiden; aufrecht erhalten können werden; *M. albotaeniata* Bttgr. 1913 (O. Afrika) *M. boulengeri* Sternf. 1911 (O. Afrika), *chanleri* Stejn. (O. Afrika) *diesneri* Sternf. 1911 (O. Afrika), *laevis* Blngr. 1907 (Angola), *peringueyi* Blngr. (Namaland), *polytropis* Blngr. (Gabun, Kamerun), *wingatii* Wern. 1908, vielleicht auch *dolloi* Wern. 1909 (S. Afrika); *M. polylepis* Wern. 1909 u. *semicollaris* Wern. 1917 dürften in den Formenkreis der *quinquetaeniata* gehören, letztere mit *M. q. hildebrandti* Sternf. identisch sein.

Mabuia striata Ptrs.

Werner, l. c. p. 1854.

Sternfeld, Wiss. Ergeb. Deutsch. Zentral-Afrika-Exp. 1907—1908. Bd. IV, Zool. II, Lief. 9, Leipzig 1919, p. 237.

Diese Art ist in Südkordofan noch sehr selten und es wurde außer dem vom Wege Nubbaka-Sungikai kein einziges Exemplar beobachtet. Von Talodi an wird sie häufig, kommt hier neben drei anderen Arten vor und ist in Tonga, also an der Südgrenze der Nuba-Provinz, die einzige *Mabuia*-Art. Die Variabilität bewegt sich ungefähr in denselben Grenzen, wie bei den von mir früher beschriebenen Exemplaren aus dem Gebiete des Weißen Nils und des Bahr-el-Gebel. Größtes Exemplar 79 + 102 = 181 *mm* (größtes vom Oberen Nil 79 + 111 *mm*) Sq. 34—38 (34—37); Schuppenkiele 3—7, meist drei, wenn mehr, sind sie unsymmetrisch und die überzähligen ungleich stark). Das Suboculare erreicht bei keinem der 12 Exemplare den Oberlippenrand, das 6. oder 7. Supralabiale liegt unter der Augenmitte.

Am Tonga war *M. striata* überaus häufig und in Gesellschaft von *Hemidactylus brookii* an den Moskitofenstern der Mission eifrig mit Insektenjagd beschäftigt. Sonst habe ich sie in menschlichen Wohnungen eigentlich nirgends angetroffen, im Gegensatze zu *M. quinquetaeniata.*

Lygosoma sundevalli Smith.

Boulenger, Cat. Liz. III, p. 307.

Diese Art, welche neu für den angloägyptischen Sudan ist, habe ich in verschiedenen Teilen des Landes nachweisen können; zuerst nach noch bestimmbaren Resten bei Sennaar, (21. II.), dann ein

M. striata Fundort	Kopf-rumpf-länge	Schwanz-länge	Schuppen um die Mitte	Zahl der Kiele der Rückenschuppen	Supra-ciliaria	In Kontakt			Hinterbein erreicht	Auri-cular-Schüppchen	
						Fronto-nasale und frontale	Praefr. und Supraoc. II	Parictalia			
Nubbaka-Sungikai 18./III. (sehr stark beschädigt)	72	?	36	3	5—5	×	C.	—	?	—	3
Talodi 3./IV.	79	102	36	2—5	4—5	C.	C.	—	Handwurzel	—	$^1/_2 + 1 + ^1/_2$
»	75	reg.	36	3	5—5	C.	C.	—	zwischen Handwurzel und Ellbogen	—	»
»	72	?	36	3	5—4	C.	C.	?	»	—	»
»	60	75	36	3	5—5	C.	C.	C.	Handwurzel	—	»
»	37	?	36	3	5—4	×	×	—	Ellbogen	—	»
El Egheibisch 6./IV.	50	76	36	3	3—3	×	×	×	—	—	»
Tonga 10.—14./IV.	82	reg.	34	4—5	4—4	C.	C.	—	etwas über Handwurzel	—	fast 3
»	80	?	36	6—7	3—4	×	C.	—	Handwurzel	—	$^1/_2 + 1 + ^1/_2$
»	55	reg.	38	3	5—4	C.	×	—	Ellbogen	—	fast 3
»	49	reg.	34	3	5—5	C.	×	—	»	—	»
»	27	?	?	3	3—3	C.	C.	C.	Achselhöhle	—	»

Exemplar lebend beobachtet im Gulfan-Gebirge (Nuba-Provinz), 24. III (auf einem Berge, der mit längeren, feinen Steppengras und vereinzelten Bäumen bewachsen ist; am Fuße eines dieser Bäume lagen zahlreiche Felstrümmer, unter denen sich das überaus flinke Tierchen mit Erfolg verbarg); schließlich erhielt sich noch ein erschlagenes Exemplar am 28./III. bei Kadugli (Nuba-Provinz). Länge 80 + 45 *mm* (Schwanz zur Hälfte regeneriert). Sq. 28. Entfernung von Schnauzenspitze zum Vorderbein $2^3/_4$ mal in der vom Vorder- zum Hinterbeinansatz enthalten. Oberseite einfarbig braun, Seiten spärlich, Schwanzseiten etwas dichter dunkel punktiert, Unterseite grünlichweiß.

Diese Eidechse ist im Vergleich zu den meisten *Mabuia*-Arten im Sudan jedenfalls nicht häufig. Sie ist bereits aus Lado bekannt. Aus dem Bahr-el-Ghazal-Gebiete kennt man eine verwandte Art *L. laeviceps* Ptrs., die sich aber durch die stark dreikieligen Schuppen sofort unterscheidet.

Ablepharus wilsoni n. sp.

Werner (Anz. Ak. Wiss., Wien 1914, Nr. XVIII).

Auge groß, nicht von Körnerschuppen umgeben, an das zweite und dritte Supraciliare anstoßend. Rostrale in Kontakt mit dem Frontonasale, das durch die eine breite Sutur bildenden Präfrontalia vom Frontale getrennt ist; kein Supranasale; 3 Supraocularia, das erste so groß wie die beiden folgenden, in Kontakt mit dem Frontale; 5 Supraciliaria; Frontoparietalia und Interparietalia getrennt; ein Paar Nuchalia; 4 Supralabialia vor dem Suboculare. Ohröffnung klein, rund. 22 Schuppenreihen, die beiden dorsalen Mittelreihen am breitesten; 2 große Präanalschuppen. Gliedmaßen fünfzehig, sehr lang und dünn, aber trotzdem die vorderen und hinteren, gegeneinander an den Körper gelegt, sich nicht erreichend. Oberseite bronzebraun. Seiten braunschwarz, nach oben hell begrenzt. Kopf- und Halsseiten weiß gefleckt. Unterseite bläulichgrün.

Totallänge 55 *mm* (Schwanzspitze fehlt) Kopfrumpflänge 24 *mm*, Hinterbein 7 *mm*.

Fundort: Talodi, Nuba-Mountain Province, angloägyptischer Sudan. Die Art ist Sr. Exzellenz Wilson Bey, Gouverneur der Provinz, gewidmet, der unsere Expedition bei ihrer Tätigkeit in Talodi in liebenswürdigster Weise unterstützte.

Die neue Art ist durch die langen dünnen Gliedmaßen von allen afrikanischen Arten der Gattung leicht unterscheidbar. Sie steht dem *A. tancredii* Blngr. am nächsten, der aus Abessynien beschrieben wurde, unterscheidet sich aber von diesem leicht durch die langen, dünnen Gliedmaßen, die, gegeneinander an den Körper angelegt, nur um die Schnauzenlänge voneinander entfernt bleiben, durch die Ungleichheit der 4. und 5. Zehe, die größere Zahl der Supraocularia und Supraciliaria.

Wir können nunmehr 8 *Ablepharus*-Arten aus Afrika, die sich wie folgt unterscheiden lassen; die seit dem Erscheinen von Boulenger's Katalog neu beschriebenen 4 Arten stammen ausnahmslos aus Ostafrika, ebenso sind auch zwei von den früher bekannt gewesenen nur aus dem Osten und Süden des Erdteils bekannt.

1. Frontoparietalia und Interparietale zu einem einzigen Schild verschmolzen	2
Interparietale von den Frontoparietalen getrennt	3
2. Oberes Augenlid durch 3—4 größere Schuppen vertreten; Frontale in Berührung mit den dem 1. u. 2. der 5 Supraocularia; Schnauze zugespitzt	1. *A. boutoni* Desj.
Auge vollständig von kleinen Schuppen umgeben; Frontale in Berührung mit dem 1. der 3 Supraocularia; Schnauze kurz, stumpf	2. *A. carsonii* Blngr.
3. Frontoparietale unpaar	3. *A. wahlbergi* Smith.
Zwei Frontoparietalia	4
4. Praefrontalia median aneinanderstoßend, 20—22 Schuppenreihen . .	5
Praefrontalia voneinander getrennt; 20—22 Schuppenreihen	7

5. Schuppen in 20 Reihen um die Körpermitte; keine vergrößerten Präanalschuppen; Schwanz von 3facher Körperlänge . . . . 4. *A. megalurus* Nieden.

Schuppen in 22 Reihen; Auge in Berührung mit der 2. und 3. Supraciliare, 2 vergrößerte Präanalschuppen; Schwanz kaum von doppelter Körperlänge 6

6. 2 Supraocularia; 4 Supraciliaria; Gliedmaßen kurz, die vorderen, nach hinten gelegt, bei weitem die hinteren nicht erreichend; 3. und 4. Zehe gleich lang . . . . 5. *A. tancredii* Blngr.

3 Supraocularia: 5 Supraciliaria; Gliedmaßen lang, dünn, einander nicht ganz erreichend; 4. Zehe länger als 3. . . . . 6. *A. wilsonii* Wern.

7. Erstes der 4 Supraocularia kleiner als zweites . . . . 7. *A. aeneus* Cope.

Erstes der 3 Supraocularia so groß wie die beiden folgenden zusammen 8. *A. cabindae* Boc.

Chalcides ocellatus Forsk.

Werner, S. B. Ak. Wiss., Wien, Bd. CXVI., 1907 (1908) p.

Diese Art liegt mir in drei Exemplaren vor, von denen eines aus Khartum, eines aus Taragaia N. Kordofan (5./III.), eines aus Umm Ramad, S. Kordofan (15./III.) stammt.

Sie haben durchwegs 26 Schuppen rund um die Körpermitte, das 5. Supralabiale berührt das Auge und die vorderen Supralabialia haben keine, die hinteren schmale dunkle Vertikalsuturen. Das Exemplar von Taragaia ist das größte (95 + 100 *mm*), die Entfernung von Schnauzenspitze zum Vorderbeinansatz ist $2^3/_4$ mal in der vom Vorder- zum Hinterbein enthalten; bei dem Exemplar von Umm Ramad (85 + 100 *mm*) ist das Verhältnis wie 1 : 2, bei dem von Khartum (75 + 72 *mm*, Schwanz regeneriert), wie $1 : 2^1/_2$.

Chalcides bottegi Blngr.

Boulenger, Ann. Mus. Genova, Serie 2a, Vol. XVIII (XXXVIII), 1898, p. 719, Taf. X, Fig. 1.

Diese Art traf ich unter Steinen am Fuße des Gebel Eliri bei Tanguru (7./IV.). Sie ersetzt anscheinend im Nubalande den nördlicheren *Ch. ocellatus*. Von den drei Exemplaren hat nur das größte die Schuppenreihenzahl 24 wie die Type aus Somaliland, es ist 115 + 110 *mm* lang, die Entfernung von Schnauzenspitze und Vorderbeinansatz verhält sich zu der vom Vorder- zum Hinterbein wie 1 : 3; bei dem mittelgroßen (80 + 59 *mm*), Schwanz wie bei dem großen regeneriert) sind nur 22 Schuppen um die Rumpfmitte vorhanden und das obige Verhältnis ist wie $1 : 2^1/_2$; das kleinste Exemplar endlich (50 + 56 *mm*, Schwanz unverletzt), sind gleichfalls 22 Schuppenreihen vorhanden, die Verhältniszahlen wie 1 : 2. Bei allen dreien sind die vertikalen Oberlippenschildernähte breit schwarz gesäumt, die Unterseite ist weiß, ungefleckt, nur auf den Schwanz greifen die Ocellen auch auf die Unterseite etwas hinüber. Die Schwanzregenerate sind oben und unten dunkel getüpfelt. Das kleinste Exemplar ist oberseits hellrötlichbraun, mit zahlreichen in Querreihen stehenden Ocellen auf Rumpf und Schwanz; von einem dunklen Rücken- und Seitenband ist nur vorne (etwa so weit, als die Fingerspitzen nach hinten reichen) etwas zu bemerken. Das mittlere Exemplar ist sehr ähnlich, aber mehr sattrötlichgraubraun, das große aber hellbräunlichgrau, die Ocellen weniger deutlich, die Längsbänder schwach, aber auf den ganzen Rumpf deutlich.

Durch das Vorkommen von nur 22 Schuppen um die Rumpfmitte nähert sich die Tanguru-Form bereits der var. *thierryi* Tornier (Archiv f. Naturg., Jahrg. 1901, Beiheft, p. 71) mit nur 20 Schuppenreihen aus Togo, bei der z. T. schon schwarze Flecken ohne weiß (also keine Ocellen) auftreten. Hierher gehört aber auch zweifellos *Chalcides pulchellus* Mocquard (Bull. Mus. hist. nat. Paris 1906, Nr. 7, p. 465) aus dem Lobi-Gebiete im französischen Sudan, mit 24 Schuppenreihen und mit zahlreichen schwarzen Flecken der Oberseite (ebenfalls ohne weiß).

Es geht aus den Beschreibungen hervor, daß *Ch. bottegi* ein enormes Verbreitungsgebiet besitzt, das vom französischen Sudan über Togo, Südkordofan nach Somaliland, also quer durch den ganzen afrikanischen Kontinent reicht, im Westen meist einfach gefleckt, im Osten aber ocelliert erscheint. Von *Ch. ocellatus* durch die geringere Zahl der Schuppenreihen (20—24), durch die dunkel gesäumten Supralabialen, deren 4. das Auge erreicht, die sehr breiten beiden mittleren Rückenschuppenreihen verschieden. Vorder- und Hinterbeine erreichen einander auch bei jungen Exemplaren bei weitem nicht.

Das Vorkommen von *Chalcides bottegi* bei Tanguru ist von großem tiergeographischen Interesse, um so mehr als es mit ähnlichen Erscheinungen bei Coleopteren zusammentrifft.

Chamaeleontidae.

Chamaeleon basiliscus, Cope.

Werner, Sitz. Ber. Ak. d. Wiss. Wien, CXVI. Bd., 1907 (1908), p. 1860.

Diese Art ist im nördlichen Kordofan in Gärten eine nicht seltene Erscheinung; in der offenen Savanne dagegen habe ich sie weder selbst angetroffen, noch ist sie mir jemals gebracht worden. Möglicherweise halten die Tiere hier, wo ihnen die regelmäßige Bewässerung fehlt, einen ausgiebigen Trockenzeitschlaf. Das erste Exemplar, welches ich fing (Bara 8. III.), ging auf dem Erdboden neben einem Zwiebelbeet dahin, zunächst einem kleinen Orangenhain, auf dem es wohl seinen Aufenthaltsort hatte. Es war zuerst prachtvoll gelbgrün, mit lebhaft gelben Längsbinden, dann fast schwarz; die mediane Bauchlinie stets rein weiß.

Ein weiteres kleines Exemplar von Bara (10. III. — 2^h $30'$ p., Temperatur im Schatten 36° C.) war anfangs hellgraubräunlich, mit undeutlichen olivenbraunen Querbinden des Rückens und ebensolcher Kopfzeichnung; helle Seitenbinden weißlich, nur angedeutet, außerdem viele kleine runde, dunkle Flecke; olivenbraune Radiärbinden des Kopfes mit dunklen Fleckenreihen eingefaßt. Färbung wenig veränderlich.

Ein drittes Exemplar vom selben Tage und Fundorte war fast schwarz, die Haut zwischen den Körnerschuppen grünlichgelb.

Während unseres Aufenthaltes in El Obeid fing ich in einem Garten im Westen der Stadt abermals zwei ♀ Exemplare (14. III.), und zwar das eine im Begriffe, am Stamme einer *Parkinsonia* herabzuklettern, das andere in einem seichten Wassergraben unter einem Beet einer Crucifere (ähnlich *Lunaria*). Es lief verhältnismäßig recht schnell auf dem Boden dahin. Färbung hellgelbgrün, Seitenbinden lebhaft gelb, dunkle Flecke u. a. Zeichnungen dunkelgrün. Ein ♂ fing ich im Garten des Gouverneurs (13. III.). Anfangs lebhaft gezeichnet, mit vielen runden dunklen Flecken, Seitenbinden lebhaft gelblichweiß; dann einfarbig olivengrün; zuerst verschwanden die Binden; dann die Flecke.

Da ich in El Obeid Zeit hatte, die Tiere zu beobachten, so gebe ich hier auch die Ergebnisse meiner Beobachtungen über den Farbenwechsel wieder.

14. III., 2^h $20'$ pm., 37° C.

♂ zuerst ziemlich gleichmäßig olivengrün, dunkle Flecke wenig deutlich, dann Längsbinden hervortretend, ebenso dunkle Flecke (auch größere); Schwanz mit Doppelquerbinden, auch Gliedmaßen quer gebändert. In der Sonne sandfarbig, Zeichnung sehr deutlich olivengrün, namentlich auf dem Kopf; Flecke oft dunkelgrün.

1. ♀ zuerst grün, dann aus dem Behälter genommen fast schwarzgrün, Längsbinden gelblichgrün, aber obere in mehrere Längsflecke aufgelöst, untere zusammenhängend; dann dunkelgrün, Längsbinden undeutlich, noch mehr die dunklen Flecke und Querbinden.
In der Sonne treten Doppelquerbinden des Schwanzes hervor, ebenso Querbinden des Rückens und dunkle Flecke.

2. ♀ Aus dem Käfig genommen, sehr dunkelgrün, mit lebhaft gelber Zeichnung, oberes Längsband in Flecke aufgelöst, unteres zusammenhängend, etwas zackig; alle diese Zeichnungen undeutlich, dunkel gesäumt; dunkle Flecke und Kopfzeichnung wenig bemerkbar.
In der Sonne rasche Aufhellung, schön grün, Längsbinden fast orangegelb, alle dunklen Zeichnungen schwach hervortretend, schön grün, wenig dunkler als die Grundfärbung.

Bemerkenswert war, daß sowohl das ♂ als das 2. ♀ den Schwanz, wenn er nicht zum Festhalten verwendet wurde, spiralig einrollten, was das 1. ♀ nicht tat.

Ein ♀ von Abu Simbel (11. I.) legte während meines Aufenthaltes in Khartum 11 Eier von 18 bis 19×9 *mm* Durchmesser.

Anderson kennt keinen anderen Fundort in Ägypten als Ramleh, wo diese Art in Gärten vorkommt und wahrscheinlich importiert ist. Sie ist aber vermutlich schon in Oberägypten verbreitet, wie ich aus der Auffindung eines ♀ bei Abu-Simbel schließen möchte und geht von hier durch das mittlere Niltal—Wadi Halfa—Khartum—Geteina bis Kawa, während es südlich davon durch *Ch. laevigatus,* Gray vertreten wird.

Ich möchte hier gleich bemerken, daß *Ch. vulgaris,* das Anderson aus Ägypten nur von Marsa Matru kennt, auch im Binnenlande sich findet, da Herr stud. phil. Höfler ein halbwüchsiges Exemplar auf einem kleinen Strauch in der Wüste von Heliopolis antraf.

Länge der gesammelten erwachsenen Exemplare:

♂ von El Obeid 106 + 106 *mm.*

♀ 95 *mm,* Schwanz ebenso lang.

♀ von Bara 108 + 110 *mm.*

♀ von Abu Simbel 108 + 132 *mm.*

Chamaeleon laevigatus, Gray.

Werner, l. c. p. 1862.

Von dieser Art bekam ich am 23. IV. ein halbwüchsiges Exemplar nördlich Duem am rechten Ufer des Weißen Nils. Es ist dies der nördlichste Fundort dieser Art im Sudan.

Ophidia.

Glauconiidae.

Glauconia cairi, DB.

Werner, Sitz. Ber. Ak. Wiss. Wien, Bd. CXVI, 1907 (1908), p. 1864 u. Mitt. Naturhist. Museum Hamburg, Bd. XXXIV, 1917, p. 208.

Von dieser überaus lebhaften und flinken kleinen Schlange, die ich auch auf Elephantine und der Kitchener-Insel bei Assuan antraf, fing ich ein Exemplar von 10 *cm* Länge (Dicke 1·5 *mm,* Schwanzlänge 8 *mm*) im Sande am Fuße eines kleinen Strauches bei Taragaia, N. Kordofan, am 5. III. Abweichend von den in meinem Besitze befindlichen Exemplaren aus Ägypten und Sennar, die oberseits lebhaft rotbraun gefärbt sind, ist dieses Exemplar mit Ausnahme eines bräunlichen Anfluges auf der Oberseite des Kopfes und der nächsten darauffolgenden Schuppenreihen elfenbeinweiß, die ziemlich großen Augen lebhaft schwarz, nach sorgfältiger Vergleichung mit Exemplaren nördlicher Provenienz finde ich aber keinen weiteren Unterschied; denn die geringe Länge im Vergleich zur Dicke (66 : 1), ist noch innerhalb der Variationsbreite der Art.

L. G. Andersson erwähnt (Medd. Göteborgs Mus. Zool. Afdeln. 9, 1916, p. 23) *Glauconia cairi* von Omdurman und bemerkt dazu: »One specimen ...... shows thet this little Egyptian snake lives in the Soudan as well.« Er scheint also dieses Vorkommen für neu zu halten, obwohl ich bereits in meiner oben zitierten Arbeit (1908) vier Fundorte aus dem Sudan angegeben habe, darunter auch Khartum.

Boidae.

Eryx thebaicus, Rss.

Werner, Sitz. Ber. Ak. Wiss. Wien, Bd. CXVI, 1907 (1908), p. 1865.

Ein Exemplar, das im Zoologischen Garten zu Khartum getötet worden war, wurde mir vom Direktor Herrn A. L. Butler zur Untersuchung übergeben.

Sq. 45, V. 182, Sc. 24; Supralabialia 13—12, Augenkränzschildchen 12—12, Interocularreihen 11. Die Art ist in Ostafrika weit verbreitet, wenngleich wohl nirgends häufig.

Python regius, Shaw.

Werner, l. c. p. 1865.

Eine Haut mit Kopf im Fleisch wurde dem Gordon College Museum von Capt. Hendon aus Kadugli eingesandt. Das Exemplar ist erwachsen, hat 53 Schuppenreihen, 9—11 Supralabialia (das 5. am Auge), 4 Prä- und 4—5 Postocularia. Hintere Präfrontalia von den Frontalen durch zahlreiche unregelmäßige und sehr ungleiche Schildchen getrennt; auch die Frontalia voneinander durch zwei Schildchen getrennt, dahinter ein Paar kurzer, breiter Parietalia.

Diese Art ist bereits aus dem O. Sudan bekannt, und zwar wurde sie von A. L. Butler am Gazellenfluß gefunden. Sonst ist sie bisher in Ostafrika noch nirgends angetroffen worden.

Colubridae.

Boodon lineatus, DB.

Werner, Sitz. Ber. Ak. Wiss. Wien, Bd. CXVI, 1907 (1908), p. 1867.

Es wurde uns in Melut am Weißen Nil ein junges ♂ gebracht (18. IV.), mit deutlicher Kopfzeichnung, aber einfarbig dunkelgraubrauner Färbung der Oberseite von Rumpf und Schwanz.

Sq. 33, V. 219, Sc. 67/67 + 1; nur 1 Präoculare vorhanden.

Ein Exemplar (♀) von Kadugli, Nubaland (leg. Hendon) mit sehr reduzierter Kopfzeichnung, sonst wie das vorige hat die Schuppenformel: Sq. 31, V. 240. Sc. 50/50 + 1; ebenfalls nur 1 Präoculare.

Durch die Einzahl des Präoculare und die wenigstens andeutungsweise vorhandene Kopfzeichnung unterscheiden sich beide Exemplare von den von mir aus Mongalla beschriebenen ♂, das der var. *plutonis* angehört. Aber allen von mir gesehenen Sudan-Exemplaren dieser Art fehlen die hellen Streifen des Rumpfes, mit Ausnahme des Exemplares in der Wiener Universitätssammlung.

Ein Exemplar einer *Lycophidium*-Art sah ich im Gordon-College-Museum. Da ich auf dem Rückwege von Kordofan wider Erwarten leider keine Zeit mehr fand, es genauer zu untersuchen, so kann ich weder eine Fundortsangabe noch zur Bestimmung dienliche Notizen darüber geben. Wahrscheinlich dürfte es zu *capense* gehören, von dem ja das in Ostafrika recht weit nach Norden gehende *jacksonii* nach Sternfeld kaum spezifisch verschieden ist. — Es möge hier auch bemerkt werden, daß nach Sternfeld *Simocephalus* (*Mehelya*) *butleri* Blngr. von *capensis* ebenfalls kaum artlich getrennt werden kann, womit eine für den Sudan eigentümliche Art ausfallen würde.

Tarbophis obtusus, Rss.

Werner, Sitz. Ber. Ak. Wiss. Wien, Bd. CXVI, 1907 (1908), p. 1874.

Mir liegen zwei erwachsene Exemplare vor, eines von Khartum (leg. Kindel) und eines von Kadugli (leg. Capt. Hendon), sie unterscheiden sich nicht unwesentlich voneinander, da das Kadugli-Exemplar einen breiteren und kürzeren Kopf mit mehr vorquellenden Augen und eine andere Färbung aufweist.

Das Exemplar aus Khartum hat die Schuppenformel:

Sq. 23, V. 258, Sc. 76/76 + 1; Supalabialia 11 (5.—7. am Auge); Sublabialia 3 in Berührung mit dem vorderen Kinnschildern.

Das Exemplar von Kadugli (♂) hat die Schuppenformel:

Sq. 21, V. 253 + 1/1, Sc. 85/85 + 1; Supralabialia 7 (3., 4.), 9 (3.—5.); 3 Sublabialia; Oberseite einfarbig, hellviolettgrau, ohne dunkle Postocularbinde.

Zwei kleinere Exemplare aus Khartum stimmen in Pholidosis, Färbung und Zeichnung mit dem großen sowie mit dem bereits früher (l. c.) von mir aus Khartum genannten Exemplaren überein.

Falls sich die recht auffälligen Charaktere der Kordofan-Form als konstant erweisen sollten, möchte ich den Namen »*nubamontana*« für sie vorschlagen.

Leptodira hotamboeia, Laur.

Werner, Sitz. Ber. Ak. Wiss. Wien, Bd, CXVI, 1907 (1908), p. 1874, Taf. III, Fig. 7 *a—b*.

Im Nubalande kommt nur diese Art vor, und zwar anscheinend nicht selten. Mir liegen drei Exemplare vor, von denen zwei von unserer Expedition mitgebracht wurden, während das dritte von Capt. Hendon in Kadugli dem Gordon College-Museum eingesandt und von diesem mir zur Bestimmung übermittelt wurde. Alle drei sind in der Färbung vollkommen typisch und schon danach leicht von *L. attarensis*, Wern.[1] (*degeni* Blngr.) zu unterscheiden.

♂ von Dilling: V. 175, Sc. 40/40 + 1; Das 3.—5. Supralabiale berührt das Auge;
♂ von Debri: V. 174, Sc. 47/47 + 1; 3 Sublabialia in Berührung mit den vorderen
♂ von Kadugli: V. 176, Sc. 42/42 + 1. Kinnschildern.

Bei allen dreien sind 3 Paare von Kinnschildern vorhanden.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit[2] hält Andersson an seiner früher (Jahrb. Nassau, Ver. Naturk. Wiesbaden 1910, p. 203) ausgesprochenen Meinung von der Identität von *L. hotamboeia* und *attarensis* fest und ist sogar der Ansicht, die typische Form der *L. hotamboeia* mit dunklen Schläfenflecken sei auf die Capcolonie beschränkt. Demgegenüber sei nur bemerkt, daß ich das Vorkommen dieser Form bei Gondokoro ausdrücklich hervorgehoben habe und daß Sternfeld aus Zentralafrika[3] ausschließlich ganz typische Stücke beschreibt; auch habe ich Exemplare aus Deutsch- und Französisch-Togo, vom Kongo, vom Natal, Transvaal und Deutsch-Ostafrika untersucht. Auf die Verschiedenheit der Zahl der Kinnschilderpaare geht Andersson auch in dieser Arbeit nicht ein, sondern bezieht sich immer nur auf die Kopfform, die ich durchaus nicht als wichtiges Merkmal gelten lassen möchte.

Psammophis sibilans, L.

Werner, Sitz. Ber. Ak. d. Wiss. Wien. Bd. CXVI. 1907 (1908), p. 1879.

Ich fand noch erkennbare Reste eines erwachsenen Exemplares dieser Art am Gebel Debri (var. *irregularis* Fisch.) und konnte ein junges Exemplar derselben Varietät aus Kadugli (leg. Capt.

[1] Vergl. Third Rep. Gordon Mem. Coll. Khartoum 1908, p. 171.

[2] Medd. Göteborgs Mus. Zoologiska Afd. 9, 1916, p. 33.

[3] Ergeb. D. Zentral-Afrika-Exp. 1907—1908, Bd. IV, Zool. II, Lief. 9, 1912, p. 272; II. D. Zentral-Afrika-Exp. 1910 bis 1911, Bd. I, Zool. Lief. II, 1917, p. 476.

Hendon) untersuchen, wo diese Art mit der folgenden zusammen vorkommt. Auch bei Tonga sah ich die Haut eines großen daselbst gefangenen Exemplares derselben Varietät. Herr A. L. Butler, der Superintendant des Zoologischen Gartens in Khartum teilte mir mit, daß *Psammophis* ebenso wie *Tarbophis* nicht selten in den Kronen der Bäume angetroffen wird.

Psammophis subtaeniatus, Ptrs.

Boulenger, Cat. Snakes III, p. 160.

Werner, in: Third Rep. Wellc. Res. Lab. Gordon Mem. College Khartoum 1908, p. 171.

Ich erhielt ein schönes erwachsenes Exemplar (♂) in Kadugli (28. März) und konnte eine Haut eines noch größeren Exemplares sowie ein junges Tier ebendaher (leg. Capt. Hendon) untersuchen.

♂ V. 166, A. 1/1 Sc. 106/106; Präoc. 1—2; 6 der 8 Supralabialia vertikal geteilt. Frontale vom Präoculare getrennt, so lang wie das Parietale und wie sein Abstand von der Schnauzenspitze.

Nach der Boulenger'schen Bestimmungstabelle ist es ganz unmöglich, diese Art mit einiger Sicherheit von ähnlich gezeichneten Exemplaren der vorigen zu unterscheiden, da das Rostrale bei der weitaus größten Zahl von Exemplaren von *P. sibilans* wenigstens etwas breiter als hoch ist. Im Sudan macht die Unterscheidung beider Arten keine Schwierigkeit, da auch junge Exemplare schon verschieden gezeichnet sind; auch ist *subtaeniatus* entschieden schlanker als *sibilans irregularis*, ebenso ist der Kopf schmäler und der ganze Habitus erinnert mehr an *schokari*.

Diese Art, die in Ostafrika weit verbreitet ist, wurde im Gazellenflußgebiet (Wau) zum ersten Male von Dr. Wenyon für den Ostsudan nachgewiesen. Eine recht ähnliche Form von *P. sibilans* L., die sich durch größere, oft ringförmige dunkle Flecken auf den Supralabialen aber sofort von unserer Art unterscheiden läßt, ist in Westafrika (Nieder- und Ober-Guinea) recht häufig. Im allgemeinen kann ich unter dem mir vorliegenden Material von *P. sibilans*, das dem ganzen Verbreitungsgebiete der Art entstammt, folgende Hauptformen unterscheiden:

1. Forma typica: Entspricht der Abbildung bei Anderson, Zoology of Egypt, Taf. XLIII; Bauch ohne Längslinien oder Punktreihen. Kopfzeichnung deutlich. Länge wenig über 1 *m*. Ägypten, Nord-Ost-Sudan.

2. var. *irregularis* Fisch. Kopf bei erwachsenen Tieren ohne, bei jungen mit wenig deutlicher Zeichnung; Oberseite bei Erwachsenen einfarbig mit hellen, dunkel gesäumten Schuppen der Medianreihe, bei jungen mit Spuren der Längsbänder; ausnahmsweise haben auch junge Tiere keine Längsstreifen mehr, manchmal sind sie aber fast so deutlich wie bei der typischen Form. Unterseite ohne Längslinien oder Punktreihen. Wird $1^1/_2$ *m* lang. Trop. Teil des ganzen Sudan von Senegambien bis zum Nil; Ostafrika bis Natal.

3. var. *occidentalis*. Kopfzeichnung sehr deutlich; Oberlippe mit großen, dunklen Flecken, die größten oft ringförmig; Kehl- und Unterlippenschilder dunkel gefleckt; Unterseite mit zwei Punktreihen. Sehr ähnlich der typischen Form, aber durch die gefleckten Supralabialia und die zwei Punktreihen der Ventralia und Subcaudalia charakterisiert. — Länge wie forma typica; Westafrika von Togo bis Congo.

An diese Form schließt sich dann ohneweiters die Sudanform des *P. subtaeniatus* an, mit deutlicher, an *schokari* erinnernder Kopfzeichnung, deutlichen, aber im erwachsenen Zustande stets braun gefärbten Längslinien der Ventralen, mit einer Reihe von schwarzen Punkten der Supralabialia oder diese ungefleckt. Ich nenne diese Form var. *sudanensis*. Sie wird wenig über 1 *m* lang.

Schließlich ist die forma typica des *P. subtaeniatus* zu nennen, mit undeutlicher oder fehlender Kopfzeichnung der Erwachsenen (die braune Färbung der Kopfoberseite ist von der gelben der Supralabialia durch eine schwarze, auch über das Rostrale ziehende Linie getrennt), stets vorhandener

Punktreihe der Supralabialia und tiefschwarze Längslinien der Ventralia und Subcaudalia. Kopf schmal, Körper schlank; Länge wie forma typica; namentlich in Deutsch-Ostafrika häufig.

Obwohl sich gewisse Anklänge an die Färbungsverhältnisse der anderen Varietäten in jeder dieser Formen vorfinden, sind sie doch geographisch viel besser getrennt als die vollständig vagen Formen, die Boulenger anführt und unter denen die so konstanten und auffälligen Formen *irregularis* und *occidentalis* in keiner Weise hervorgehoben und mit den vorhandenen Beschreibungen identifiziert sind.

Ich habe nun vergeblich versucht, ein einziges Merkmal herauszufinden, durch das *P. subtaeniatus* von *sibilans* unterschieden werden kann und bin geneigt, wieder auf die ursprüngliche Ansicht von Peters zurückzukommen, der diese Form als Varietät von *sibilans* beschreibt. Alle aus der Pholidose entnommenen Merkmale versagen vollständig, auch die Maßverhältnisse sind im wesentlichen dieselben bei beiden, wie sich aus zahlreichen möglichst genauen Messungen ergab.

Demgemäß möchte ich die Einteilung der afrikanischen *Psammophis*-Arten ganz ohne Rücksicht auf zwei von Boulenger verwendete, aber teils fast immer (Höhe: Breite des Rostrale) teils zum mindesten nicht selten (Längsteilung oder Integrität des Anale) versagende Merkmale in folgender Weise gruppieren:

I. Schuppen in 17 (ausnahmsweise 19) Reihen:

A. Schnauze wenigstens doppelt so lang wie das Auge, quer und schief nach hinten und unten abgestutzt; 9 Supralabialia, das 5. und 6. am Auge; 144 bis 161 Subcaudalia
P. elegans Shaw (Westafrika).

B. Schnauze höchstens doppelt so lang wie das Auge, nicht abgestutzt.

1. Meist 9 Supralabialia 2
» 8 » 5

2. 3 Supralabialia (4, 5, 6) am Auge
P. bocagei Blngr.[1] (Westafrika, südl. vom Äquator).
2 » (5, 6) am Auge 3

3. Auge halb so lang wie die Schnauze; 6. Supralabiale so lang wie das Auge; zwei Präocularia, das obere das Frontale nicht erreichend; Loreale 3 mal so lang wie hoch . . . . *P. trigrammus* Gthr. (Westafrika, südl. v. Äquator).
Auge mehr als halb so lang wie die Schnauze, meist nur ein Präoculare 4

4. Das 6. Supralabiale so lang wie das Auge; Loreale höchstens $2^1/_2$ mal so lang wie hoch . . . . *P. punctulatus* DB. (Arabien, Ostafrika).
Das 6. Supralabiale kürzer als das Auge; Loreale 3 bis 4 mal so lang wie hoch
P. schokari Forsk. (Nordafrika, Westasien bis Indien).

5. 2 Präocularia
P. notostictus Ptrs. Südwest-, Süd- und Ostafrika, südl. vom Äquator.
1 Präoculare 6

6. Präoculare eine breite Naht mit dem Frontale bildend
P. furcatus Ptrs.[2] (Südwest- und Südafrika).
Präoculare nur wenig oder nicht mit dem Frontale in Berührung 7

---

[1] = P. sibilans var. 2, Werner, Verh. Zoolog.-bot. Ges., Wien. 1902, p. 340.

[2] Hierher rechne ich jetzt doch auch *P. leightoni* Blngr., der weder mit *sibilans* L. noch mit *notostictus* Ptrs. zu vergleichen ist, aber im Vergleich mit *furcatus* Ptrs. sich doch nur als eine besonders lebhaft gezeichnete Varietät erweist.

7. Frontale in der Mitte schmäler als ein Superaocular; Subcaudalia wenigstens 90
P. sibilans L. (Afrika mit Ausnahme des NW.)
(Hierher wohl auch *P. regularis* Sternf. mit ungeteilter Anale, vermutlich der var. *irregularis* Fisch. anzureihen).
Frontale in der Mitte ebenso breit wie ein Supraoculare; Subcaudalia höchstens 95
P. brevirostris Ptrs. (Westafrika).

II. Schuppen in 15 Reihen.
1. Supralabialia 9 bis 10 (selten 8); über 100 Subcaudalia
P. biseriatus Ptrs. (Ostafrika).
Supralabialia 7 bis 8 2
2. Wenigstens 100 Subcaudalia; 168 bis 170 Ventralia; Präoculare breit in Berührung mit Frontale . . . . *P. jallae* Peracca.
Weniger als 90 Supralabialia; höchstens 160 Ventralia 3
3. Schnauze $1^1/_2$ mal so lang wie das Auge; Präoculare vom Frontale getrennt
P. crucifer Daud. (Südafrika).
Schnauze wenig länger als das Auge; Präoculare berührt Frontale
P. ansorgii Blngr. (Angola).

III. Schuppen in 13 Reihen.
Ventralia 144; Subcaudalia 108 . . . . *P. pulcher* Blngr. (Somaliland).

IV. Schuppen in 11 Reihen.
Ventralia 141—155; Subcaudalia 57 bis 81
P. angolensis Boc. (Trop. Afrika, südl. vom Äquator).

Psammophis punctulatus DB.

Boulenger, Cat. Snakes, III, p. 159.

Ein schönes Exemplar dieser Art von Gebel Moya am unteren Blauen Nil befindet sich im Gordon College-Museum. Die Art ist neu für den angloägyptischen Sudan, bisher außer von Arabien nur von Somaliland bis Mozambique bekannt.

Coelopeltis cordofanensis n. sp.

Ein ♀ von Bara, Kordofan, 27./III. (Länge 640 *mm*, Schwanz 120 *mm*), leg. R. Ebner.

Sq. 19, V. 182, Sc. 54/54+1.

Nächst verwandt und sehr ähnlich *C. moilensis* Rss., aber verschieden durch 19 Schuppenreihen, vordere Kiennschilder ebensolang wie hintere, verschiedene Zeichnung.

Rostrale halb so lang wie sein Abstand vom Frontale. Dieses länger als sein Abstand von der Schnauzenspitze, länger als Parietalia.

Ein Präoculare, zwei Postocularia, Temporalia $\frac{2}{1}$, $\frac{3}{1}$ (das heißt 2 bis 3 kürzere über einen langen, unteren Temporale); acht Supralabiale, das vierte und fünfte am Auge; fünf Sublabialia in Berührung mit den vorderen Kinnschildern. Schuppen nicht vertieft.

Färbung oben hellrotbraun mit dunklen Flecken, die aber nicht voll sind, wie bei *moilensis*, sondern die betreffenden Schuppen haben nur einen dunklen Mittelstrich oder Basalfleck. Kopf ganz ohne Zeichnung, weder Subocular- noch Temporalfleck; Oberlippe und Unterlippe weiß.

Ich habe das vorliegende Exemplar, das von meinem lieben Reisegefährten R. Ebner in der Ebene westlich von Bara in Nord-Kordofan getötet wurde, mit algerischen und ägyptischen Exemplaren von *moilensis* verglichen, nachdem ich zuerst die Identität für zweifellos gehalten und nur eine

Farbenvarietät angenommen hatte. Aber die obigen Merkmale sind solche, die das vorliegende Exemplar von allen *moilensis*, die ich gesehen habe, sofort unterscheiden; auch die Zahl der Ventralia ist höher als irgendeine, die mir von letzterer Art bekannt ist.

Von *monspessulana* ist die Art durch die nicht vertieften Schuppen, den kürzeren Schwanz, das einzige Loreale und die Färbung leicht unterscheidbar.

Es ist nun die Frage, ob die aus Senaar von Peters erwähnte *Rhagerrhis producta* diese Art oder die vorliegende Kordofan-Art ist; da *producta* (*moilensis*) aber von Anderson von Suakin und Durur erwähnt wird und auch im Gordon College-Museum in Khartum ein Exemplar aus Dongola sich befand (die in meiner Sudan-Arbeit als in diesem Museum vorhanden erwähnten Reptilien sind übrigens bei einem Brande ausnahmslos zugrunde gegangen), so scheint es, daß im Sudan zwei Arten von *Coelopeltis* vorkommen, von denen eine vorwiegend östlich, eine westlich vom Nil lebt.

Naia haie L.

Werner, l. c., p. 1882.[1]

Ich fand eine leider arg zerrissene Haut dieser Art auf dem Missionsberge bei Dilling im Grase.

Naia nigricollis Rhdt.

Werner, l. c., p. 1883.

Diese Art wurde bereits mehrfach in Khartum selbst in Gärten angetroffen.

Eine gute Zusammenstellung der bisherigen Beobachtungen über das Giftspeien von *Naia* findet sich in Fourth Report Wellcome Res. Lab. Gordon Mem. Coll. Khartoum, 1911, p. 195 (siehe auch p. 201).

Fig. 8.



Elapechis laticinctus n. sp. (Fig. 8).

♀ von Kadugli, Kordofan, 28./III. (Länge 237 *mm*, Schwanz 17 *mm*).

Sq. 13, V. 150, A. 1, Sc. 13/ + 1.

Nächst verwandt *E. decosteri* Blngr., aber mit kürzerem Schwanz und ganz verschiedener Zeichnung.

Der von oben sichtbare Teil der Rostrale ist halb so lang wie sein Abstand vom Frontale. Internasalia kürzer als Präfontalia. Frontalia so lang wie sein Abstand von der Schnauzenspitze, kürzer als die Parietalia ($^2/_3$) ein wenig länger als breit. Präoculare in Berührung mit der hinteren Nasale Zwei Postocularia, Temporalia 1 + 2; 7 Supralabialia, das 3. und 4. am Auge, das 6. am größten, 3 Sublabialia in Berührung mit den vorderen Kinnschildern, die durch das erste Paar vom Symphysiale getrennt und etwas länger sind als die hinteren.

[1] In obiger Arbeit steht auf p. 1883 infolge eines lapsus calami anstatt »Supralabialia« immer »Supraocularia«, was hiermit richtiggestellt werden soll.

Oberseite hellgrau mit 12+1 schwarzen Querbinden, die doppelt so breit sind wie die Zwischenräume; Schwanzspitze schwarz. Die vorderste Querbinde ist nach vorn dreieckig erweitert und entsendet wie bei *E. guentheri* Boc. eine schwarze Längslinie auf die Parietalsutur. Unterseite weißlich.

Diese schöne Giftschlange ist anscheinend die nördlichste Vertreterin ihrer Gattung. Ich hielt sie zuerst für die in Ostafrika verbreitete *E. guentheri* Boc. (*niger* Gthr.), aber nach eingehendem Vergleich mit vier typischen Exemplaren verschiedenen Alters aus meiner Sammlung komme ich zu der Überzeugung, eine wohlverschiedene und durch die deutlich stumpf zugespitzte Schnauze, die weniger zahlreichen, breiteren und nicht weißgesäumten Querbinden erkennbare Art vor mir zu haben.

Das Exemplar hat eine noch wohlerhaltene Eidechse (*Mabuia perroteti mongallensis* Wern.) im Magen.

Von der *E. duttoni* Blngr. vom Congo ist die neue Art schon in der Färbung, dann aber auch durch den kürzeren Schwanz und nur 13 Schuppenreihen leicht zu unterscheiden.

Viperidae.

Atractaspis microlepidota Günther.

Boulenger, Cat. Sn., III, p. 517.

Werner, in: Third Rep. Wellc. Res. Lab. Gordon Mem. College Khartoum 1908, p. 172 und 180, Taf. XX, Fig. 1.

(Siehe auch Mitt. Naturhist. Mus. Hamburg, XXX, 1913, p. 35 ff.)

Ich erhielt ein totes und stark eingetrocknetes und von Ameisen zerfressenes Exemplar am 26./II. bei Senaar. Es ist in jeder Beziehung typisch. Schuppenformel Sq. 33, V. 238, Sc. 23.

Aus der Provinz Senaar (Singa, also wenig stromaufwärts von Senaar selbst) beschreibt Barbour eine neue Art *A. phillipsi* (Proc. Biol. Soc. Washington, Vol. XXVI, 1913, p. 148). Auf den ersten Blick erscheint diese Art von der obigen wohl verschieden und würde in meiner Bestimmungstabelle der Gattung (Mitt. Naturhistor. Mus. Hamburg, XXX, 1913, p. 35 bis 37), ebenso wie *A. nigra* Pellegrin von Sokoto in die Gruppe mit ungeteilten Anale und einem vorderen Temporale gehören, von deren übrigen Arten sich aber beide durch sechs Supralabialia unterscheiden. Bei *A. nigra* ist aber das vordere Temporale klein und liegt unter dem Postoculare; auch sind nur 24 Schuppenreihen vorhanden. *A. phillipsi* hat ein großes vorderes Temporale und 31 Schuppenreihen.[1]

Trotzdem nun *A. phillipsi* sich durch ein einziges vorderes Temporale und ein einziges das Auge berührendes Supralabiale (das 4.) von *A. microlepidota* unterscheidet, bin ich doch der vollen Überzeugung, daß es sich hier um eine und dieselbe Art handelt.

Ich schließe dies daraus, daß die beiden vorderen Temporalia von *A. microlepidota* in ihrer Größe nicht unbeträchtlichen Schwankungen unterliegen, und zwar in der Richtung, daß das obere eine Tendenz zum Kleiner-, das untere zum Größerwerden aufweist. Das vorliegende Exemplar nähert sich insoferne schon *phillipsi*, indem das untere Temporale sehr groß und tief zwischen das vierte und fünfte Supralabiale eingekeilt ist, während das von mir von Sobat beschriebene und abgebildete Exemplar mit zwei ziemlich gleichen und kleinen Temporalen das Anfangglied der Reihe vorstellen würde, die mit *phillipsi* schließt. Auch die Ausschließung des dritten Supralabiale vom Auge ist bei *microlepidota* schon dadurch angebahnt, daß das dritte nur mit der äußersten Spitze das Auge berührt.

Würde man diese beiden Merkmale bei *A. phillipsi* akzeptieren, so müßte man denselben Maßstab auch bei anderen *Atractaspis*-Arten anlegen und könnte dann bei manchen, zum Beispiel bei *A. corpulenta* dazukommen, fast für jedes Exemplar eine neue Art aufzustellen.

---

[1] Die dritte seit dem Erscheinen meiner *Atractaspis*-Tabelle beschriebene Art, *A. engdahli* Lönnberg et Andersson (Arkiv för Zoologi, Bd. 8, Nr. 20, 1913, p. 5), gehört in die Gruppe der *A. congica*, von der sie sich durch die durchwegs median getrennten Sublabialia unterscheidet.; eine vierte, *A. schultzei* Sternf. (Ergeb. II. Deutsch-Zentral-Afrika-Exp. 1910/11, Bd. I, 1917, p. 489 ist von *A. katangae* durch die paarigen Subcaudalia verschieden.

Bitis arietans Merr.

Werner, Sitzber. Ber. Ak. Wiss. Wien, Bd. 1, CXVI, 1907 (1908), p. 1885.

Ich sah ein großes, ausgestopftes Exemplar bei den Missionären in Tonga am Weißen Nil; es stammte aus der Umgebung. Die Art ist bereits aus Kordofan mehrfach erwähnt.

Echis carinatus Schneider.

Boulenger, Cat. Snakes, III, 1896, p. 505.

Anderson, Zoology of Egypt., Rept. Batr. 1898, p. 336, Taf. XLIX.

Wall, Journ. Bombay Nat. Hist. Soc., Vol. XVIII, 1908, p. 525, Taf. VII, Fig. 5 bis 8.

Werner, Sitzber. Ak. Wiss. Wien, CXVI, 1907 (1908), p. 1886 und Third Rep. Gordon Mem. Coll. Khartoum 1908, p. 185, Taf. XVII, Fig. 2.

Mir liegen jetzt Exemplare von Khartum, von Mazrub, Fertangul und Kadugli in Kordofan und von Port Sudan vor. Die Art ist demnach auch über den ganzen tropischen Teil von Kordofan verbreitet.

Schuppenformel der untersuchten sudanesischen Exemplare.

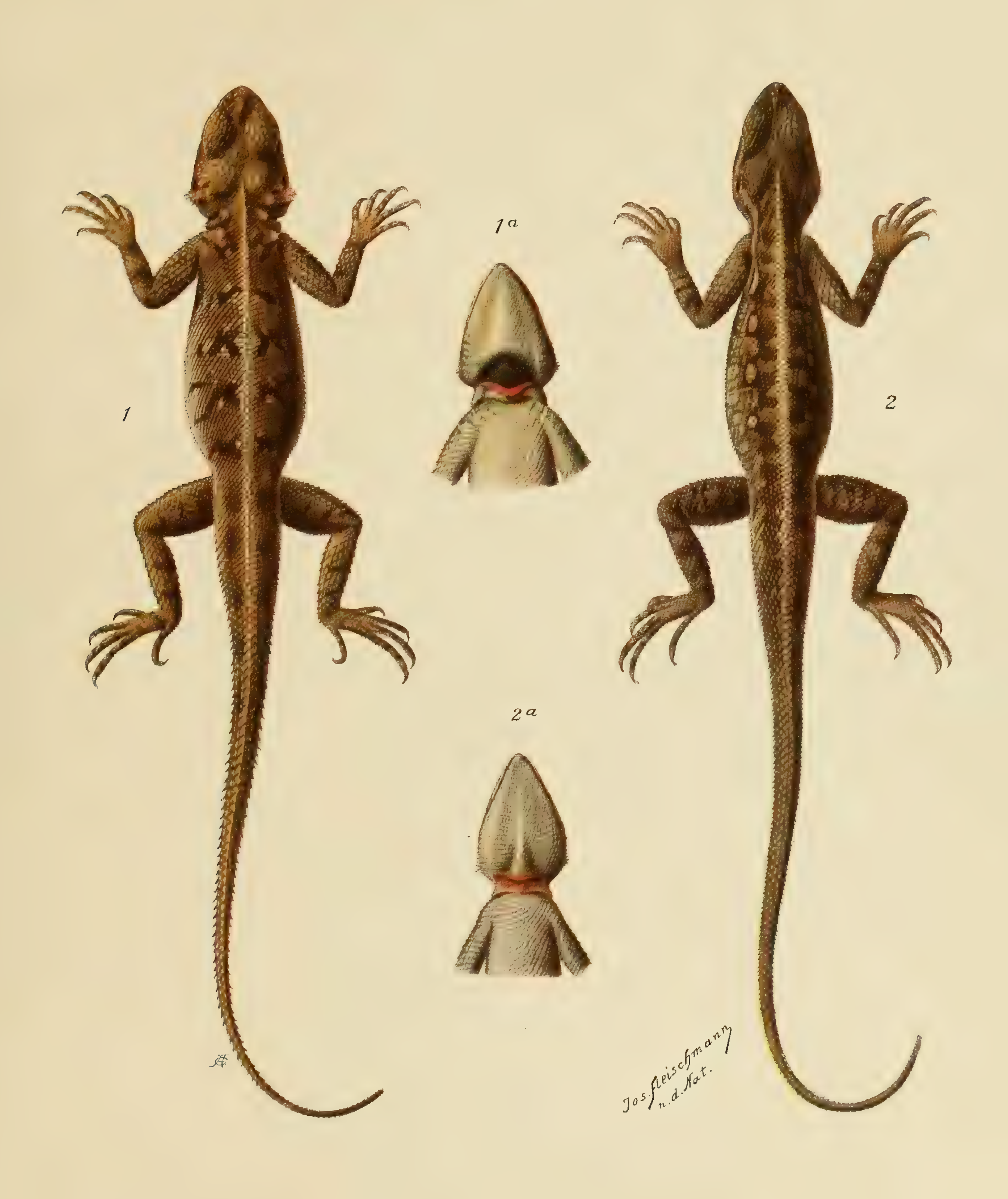
	Sq.	V.	Sc.	Supralab.	Augenkranz	Interoc
♂ Khartum . . .	31	170	37	11—11	16—19	11
♀ » . . .	31	179	32	11—11	17—16	10
♂ Fertangul (leg. Wilson) . . .	31	169	$^1/_1$+38	11—12	15—16	12
♂ Mazrub (leg. Butler) . . .	27	170	38	11—11	16—17	10
♀ Kadugli (leg. Hendon) . . .	29	151	26	10—10	13—13	11
♂ j. Port Sudan .	29	181	46	10—10	16—17	10

Bei allen zwei Subocularreihen, nur bei dem ♀ von Kadugli ist das vierte Supralabiale nur durch ein Schildchen vom Auge getrennt.




3a
4a
3
4
Jos. Fleischmann n. d. Nat.




1
1a
2
2a
Jos. Fleischmann n. d. Nat.



F. W

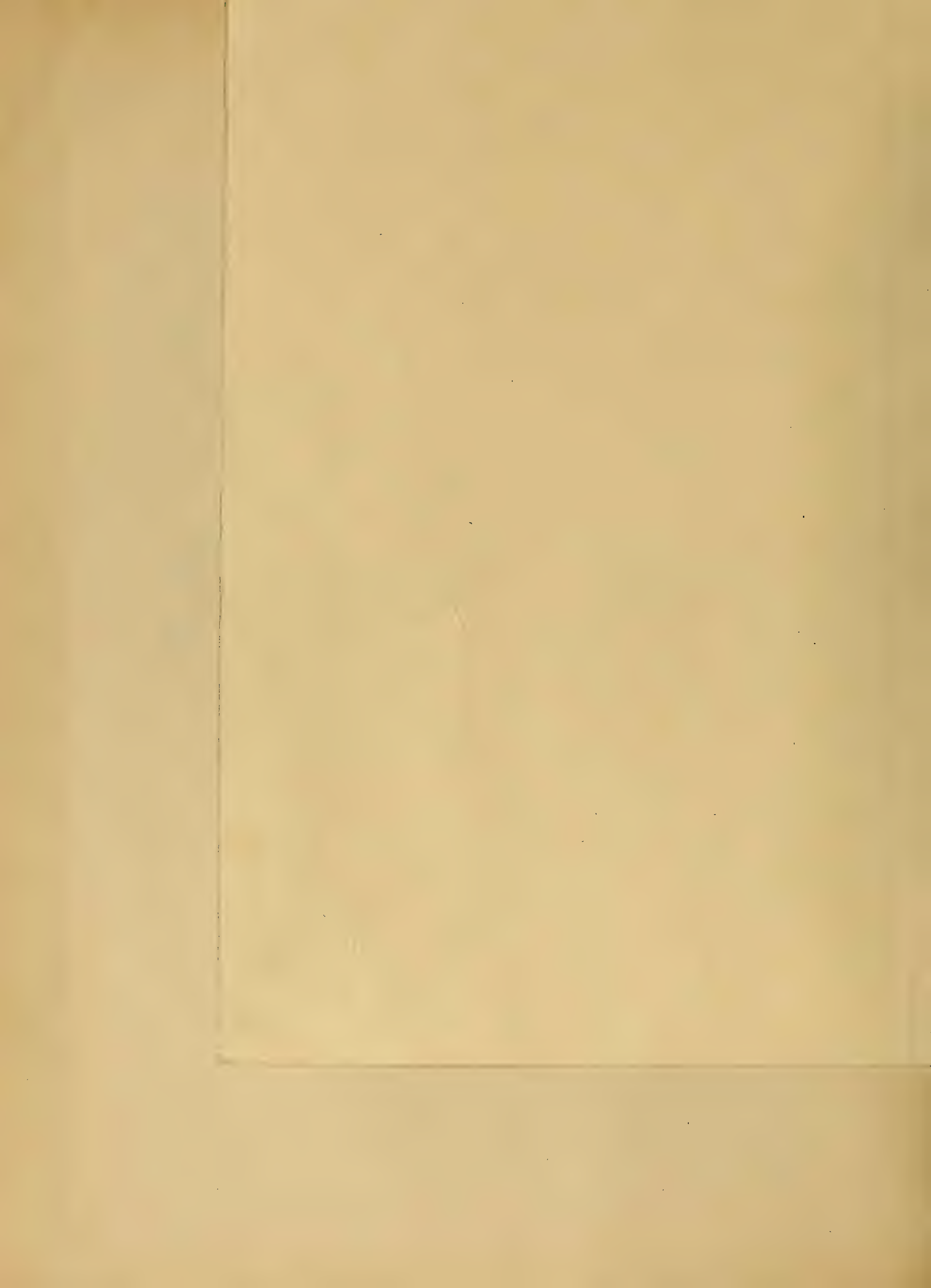
20°

15°

E

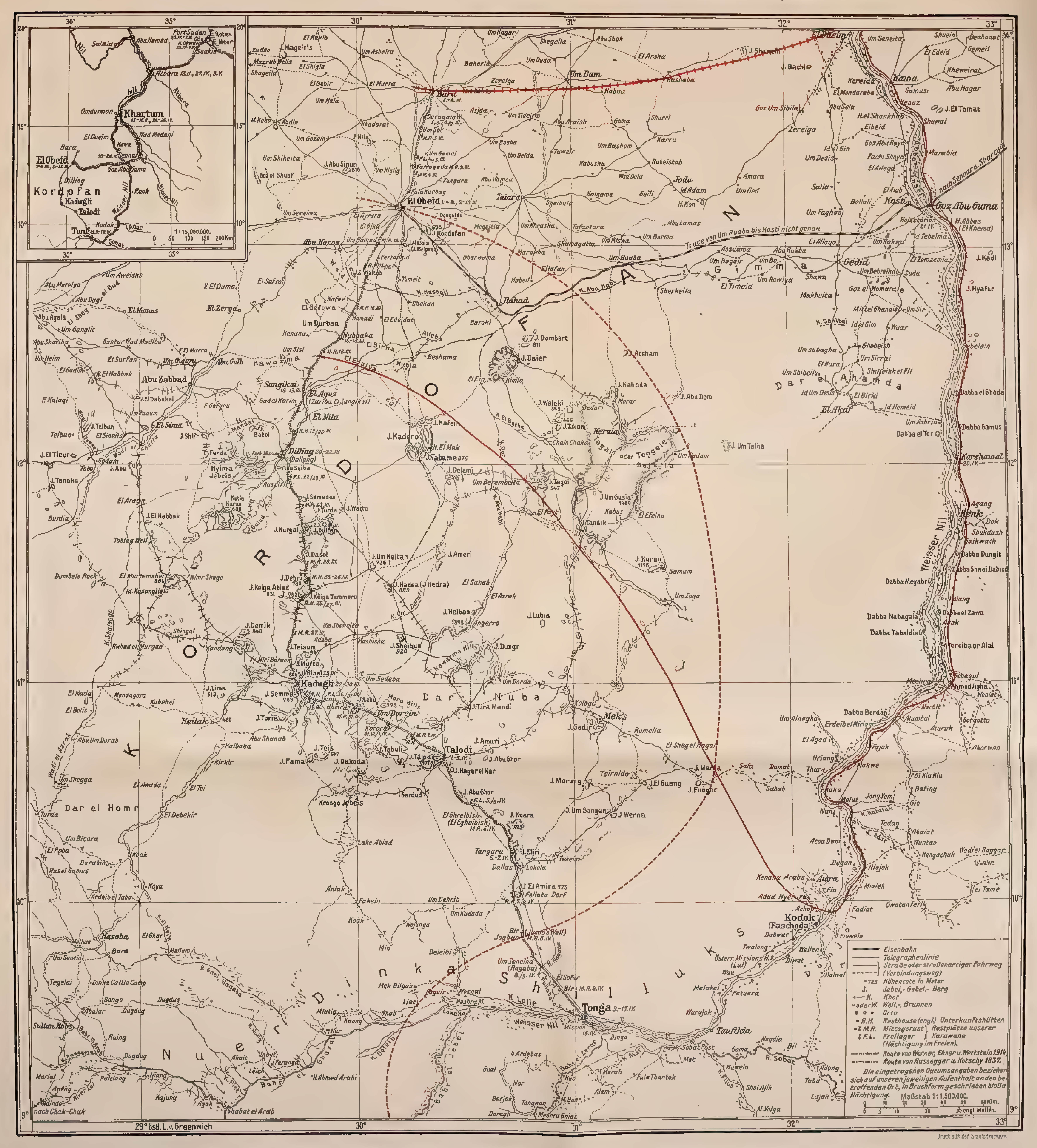
K

10°



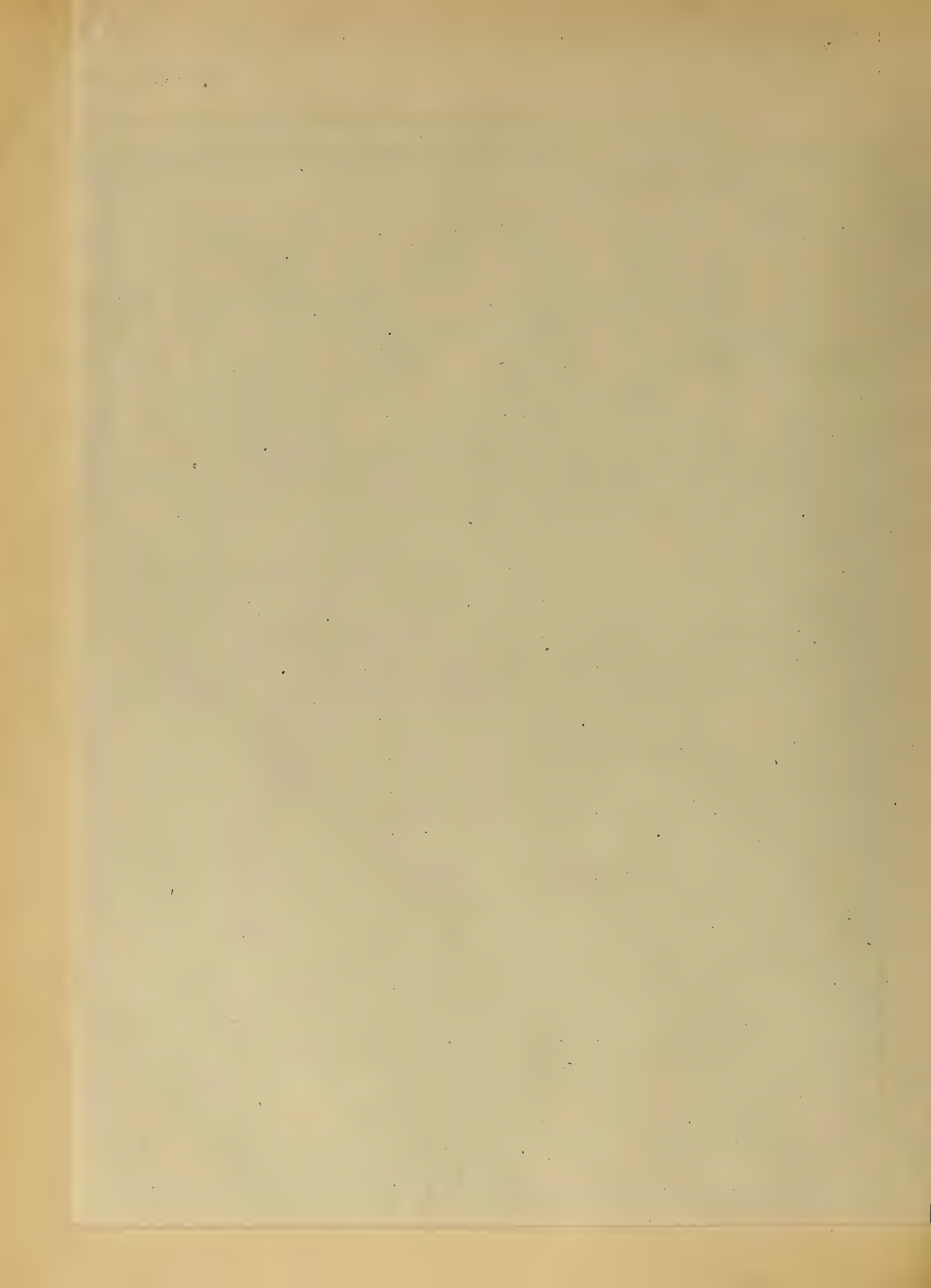
Karte von Kordofan.

Beilage zu den wissenschaftlichen Ergebnissen der mit Unterstützung der Akademie der Wissenschaften in Wien aus der Erbschaft Treitl unternommenen Expedition nach Kordofan 1914.



Nach den vom Survey Office in Khartoum herausgegebenen Spezialkarten 1 : 250.000 und Ergänzungen der Reisenden zusammengestellt und gezeichnet von A. Löber, Wien 1916.

+++++++ Nordgrenze von *Pristurus flavipunctatus*. – – – – – – Nord- und Ostgrenze von *Agama colonorum*. ———— Grenze des paläarktischen und äthiopischen Faunengebietes für die Reptilien.



REVISION DER PALÄOZOISCHEN INSEKTEN

VON

A. HANDLIRSCH

K. M. AKAD.

MIT 91 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 20. JUNI 1918.

Seit dem Erscheinen meiner zusammenfassenden Bearbeitung der fossilen Insekten[1] ist nunmehr ein Jahrzehnt vergangen. Viel neues Material wurde in dieser Zeit gesammelt, von verschiedenen Autoren untersucht und daher in etwas ungleichartiger Weise behandelt. Es dürfte angezeigt sein, diese neuen stammesgeschichtlichen Dokumente einer einheitlichen Revision zu unterziehen und, soweit als möglich, in das von mir geschaffene Schema einzufügen, um zu sehen, inwiefern dadurch jene allgemeinen Schlüsse, zu denen ich seinerzeit gelangt bin, beeinflußt werden.

Bedauerlicherweise stammt das meiste und interessanteste Material an palaeozoischen Insekten aus Frankreich. Es liegt meist im Pariser Museum und wurde schon vor dem Kriege nur den nichtdeutschen Forschern zur Verfügung gestellt, so daß ich selbst gelegentlich eines längeren Aufenthaltes in Paris nicht einmal in der Lage war, die längst beschriebenen Originale Brongniarts durch eigene Untersuchung kennen zu lernen, geschweige denn das Neue wissenschaftlich zu verwerten. Dagegen hat es die Leitung jener weltberühmten Sammlungen für gut befunden, mit der Revision und Beschreibung des kostbaren Materials Herrn Fern. Meunier zu betrauen, dessen Arbeitsweise durch verschiedene mit reichem Belegmaterial ausgestattete Kritiken[2] ihr unbedingt bekannt geworden sein mußte.

Ich hatte stets gehofft, auf einen Umschwung in der Meinung der maßgebenden Personen warten und dann in absehbarer Zeit eine auf Untersuchung der Originalobjekte begründete Neubearbeitung bieten zu können. Diese Hoffnung ist natürlich durch den Krieg zunichte geworden. Ich muß mich nach wie vor damit begnügen, mit den vorhandenen Abbildungen zu arbeiten, die ja, soferne es sich um Photogramme handelt, immerhin verläßlicher sind als die Texte Meunier's, und so den interessanten Funden, welche, wie die folgenden Ausführungen zeigen werden, zumeist ganz falsch gedeutet worden

[1] Die fossilen Insekten und die Phylogenie der rezenten Formen. Ein Handbuch für Palaeontologen und Zoologen. Leipzig, Engelmann, 1906 bis 1908, 1433 p., 51 Taf.

[2] A. Handlirsch, Fern. Meuniers hymenopterologische Arbeiten. In: Natural. Siciliano, VIII, 1889, p. 63. Dupont et Candèze, Rapport. In: Bul. Acad. Sciences de Bruxelles, ser. 3, XXVI, 1893, p. 572 bis 576. Archiv Musée Teyler, Haarlem, ser. 2, VIII, 1902, p. 295. A. Handlirsch, Fern. Meunier und seine Arbeiten über die Paläontologie der Insekten. Wien Selbstverlag, 1906, 10 Seiten.

waren, den richtigen Platz im Systeme anzuweisen. Die Verantwortung für die Richtigkeit jener Photogramme, nach denen ich möglichst genaue schematische erklärende Figuren hergestellt habe, muß ich natürlich Herrn Meunier überlassen.

In diesem 1. Teile der Revision will ich zunächst alle Gruppen mit Ausnahme der Blattarien behandeln, über welch letztere Meunier eine »Monographie« angekündigt hat, deren Erscheinen ich abwarten will, um mir doppelte Arbeit zu ersparen und die Synonymie nicht unnütz zu vermehren.

Bevor ich auf die Besprechung der einzelnen Gruppen eingehe, möchte ich nur noch in Kürze meinen Standpunkt in Bezug auf die Begrenzung der »Species« und sonstigen systematischen Kategorien der fossilen Insekten vertreten, der mit jenem älterer Autoren nicht ganz im Einklange zu stehen scheint: Ich fasse die »Art« möglichst eng, weil uns die Erfahrung lehrt, daß die Unterschiede nicht immer und nicht in erster Linie in den meist ausschließlich erhaltenen Flügeln liegen. Sehr viele »gute Arten« rezenter Insekten unterscheiden sich im Flügelgeäder nur durch kleine Merkmale, bei sonstiger weitgehender Verschiedenheit. Man würde also bei minder hoher Bewertung der kleinen Flügelunterschiede Gefahr laufen, ganz heterogene Formen gewaltsam zu vereinigen, wie dies leider so oft geschehen ist. Für allgemeine Schlußfolgerungen ist es immer besser, zu trennen, wenn man von der Identität nicht vollkommen überzeugt ist, als heterogene Elemente, namentlich wenn sie aus verschiedenen Schichten oder von verschiedenen Fundorten stammen, zusammenzuwerfen und dadurch falsche Ansichten über vertikale und horizontale Verbreitung in die Wissenschaft einzuführen. Die Gliederung in »Gattungen« und »Familien« kann natürlich auch vorerst nicht nach rezentem Maße beurteilt werden, weil naturgemäß im Anfange der Entwicklung einer Gruppe die Differenzierung der Reihen noch nicht so weit vorgeschritten sein konnte, als in späteren Perioden. Ob es sich also um Familien oder Unterfamilien, um Gattungen oder Untergattungen handelt, wird vielfach erst die Zukunft erweisen. Es ist im Grunde auch ziemlich gleichgültig, denn es handelt sich uns in erster Linie um die Feststellung von »Verwandtschaftsreihen«.

Ordo: Palaeodictyoptera Goldenb.

Es kann heute nach dem Bekanntwerden zahlreicher neuer Funde wohl keinem Zweifel mehr unterliegen, daß wir in diesen höchst primitiven Typen mit ihren stets horizontal ausgebreiteten einfach gebauten homonomen Flügeln und sonstigen archaischen Merkmalen tatsächlich die Ur-Insekten vor uns haben, die den Ausgangspunkt für alle vielverzweigten und so enorm formenreichen Reihen der Pterygogenen oder echten Insekten bildeten. Zahlreiche kühne Hypothesen über die Abstammung der Insekten müssen den Tatsachen weichen. Die Campodea-Theorie sowie die Peripatus-Myriopoden-Theorie ist unhaltbar geworden, denn wir finden immer mehr Anhaltspunkte für eine direkte Ableitung der Palaeodictyopteren von trilobitenähnlichen wasserbewohnenden Vorfahren. Die zweifellos amphibiotische Lebensweise der Ur-Insekten, die oft noch erhaltenen Pleurenplatten ihrer Abdominalsegmente, die damit gleichwertigen großen Flügel und kleineren Prothorakalflügel vieler Formen, die Facettaugen, Cerci usw., weisen auf Ahnenformen hin, bei denen solche Organe schon vorhanden waren. Und wenn wir auch noch keine Serie von Zwischenformen kennen, so finden sich immerhin bereits unter den cambrischen Trilobiten[1] höchst interessante Typen, die in Bezug auf die Zahl der Segmente und den Besitz der Cerci mit den Ur-Insekten übereinstimmen. Es wird dadurch die Zeit immer näher gerückt, in der man den alten Standpunkt zoologischer Lehrbücher wird aufgeben müssen und in der man die prächtigen instruktiven paläozoischen Stammgruppen, die Palaeodictyopteren sowohl als die Trilobiten, die tatsächlich vorliegen, nicht mehr als Seitenzweige rezenter, viel höher spezialisierter oder hypothetischer Gruppen betrachten wird. Die Palaeodictyopteren sind die Ur-Insekten und nicht ein Seitenast derselben; die Trilobiten sind die Ur-Arthropoden und nicht ein Seitenzweig der Phyllopoden oder der hypothetischen »Ur-Phyllopoden«.

---

[1] *Neolenus serratus* Walcott.

Welche von den bekannten Untergruppen (Familien) der Palaeodictyopteren die ursprünglichste ist, läßt sich gegenwärtig noch nicht mit Sicherheit feststellen, doch scheinen mir manche Momente dafür zu sprechen, daß es die Dictyoneuriden sind, bei denen das Flügelgeäder noch sehr primitiv, die Pleuren und Prothorakalflügel ganz allgemein erhalten sind.

Mit dem ursprünglichen Gepräge der Palaeodictyopteren stimmt auch ihre vertikale Verbreitung überein, denn unter den 157 bisher festgestellten Arten sind alle 8 bisher aus dem unteren Obercarbon bekanntgewordenen Insektenreste. Nur einzelne Arten stammen aus dem oberen Obercarbon, eine aus dem unteren Perm, alle anderen aus dem mittleren Obercarbon. Die Gruppe tritt also als erste auf, erreicht bald das Maximum ihrer Entwicklung und stirbt in dem Momente wieder aus, wo moderne Typen auftreten. Wenn auch von der überwiegenden Mehrheit der Arten nur einzelne Flügel vorliegen, so kann man bei der großen Zahl doch nicht mehr von einer Lückenhaftigkeit der paläont. Überlieferung sprechen, und es wirkt geradezu komisch, wenn sich noch immer gewisse Zoologen abmühen, unter den heute lebenden Insekten die Urformen dieses Stammes ausfindig zu machen und die Palaeodictyopteren als Seitenglieder dieser lebenden Urformen hinzustellen.

Fam. **Dictyoneuridae** Handl.

Charakteristisch für die hier vereinigten Formen ist das mehr oder minder engmaschige regellose Netzwerk, welches alle Räume zwischen den wenig zahlreichen Längsaderästen ausfüllt. Radius, Medialis und Cubitus sind bei vielen Formen noch nach einem gleichen Plane gebaut, das heißt, in einen einfachen Vorderast und in einen verzweigten Hinterast (Sector) geteilt. Die Prothorakalflügel sind bei allen Formen, von denen der Thorax erhalten ist, nachweisbar und lassen manchmal sogar ein deutliches Geäder erkennen. Die beiden großen Flügelpaare sind fast von gleicher Form, nur die Hinterflügel gegen die Basis zu manchmal etwas verbreitert.

Die Gliederung der zahlreichen hiehergehörigen Formen in Genera ist eine provisorische und beruht vorwiegend auf nicht sehr erheblichen Unterschieden im Flügelgeäder. Daß auch andere Unterschiede vorhanden sind, zeigt uns ein Vergleich der Prothorakalflügel von *Stenodictya* und *Stilbocrocis*. Wir werden daher eine definitive systematische Gliederung erst vornehmen können, bis vollständigeres Material vorliegt.

Genus: Stenodictya Brongn.

Zwischengeäder sehr engmaschig. Vorderrand der Flügel manchmal deutlich geschwungen, meist aber ziemlich gerade. Sector radii mit 3 bis 5 Ästen, von denen der (proximal) erste manchmal gegabelt ist. Medialis und Cubitus meist je eine einfache lange Gabel bildend, seltener der hintere Ast abermals gegabelt. Prothorakalflügel herzförmig, groß, an der Basis verschmälert und manchmal mit deutlichem Geäder. Hinterleib breit, die Segmente mit frei abgegliederten Seitenlappen (Pleuralplatten).

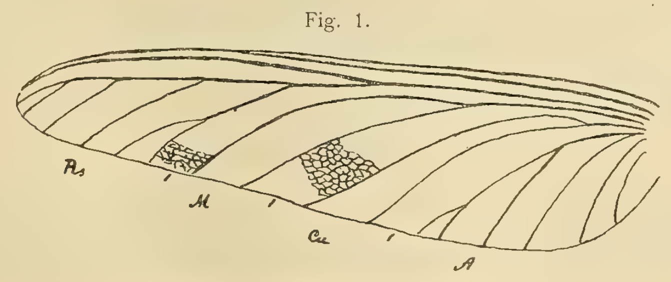
Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Intern. Ent. Brux., 1911, t. 6, f. 1; Handb. Entomol., III, 129, f. 54.

Zu den in meinen Foss. Ins. angeführten 7 Arten Brongniart's: *lobata*, *Gaudryi*, *Perrieri Arnaudi*, *Fritschi*, *Oustaleti* und *minima* kommen weitere 7 von Meunier beschriebene. Alle stammen aus dem Stephanien von Commentry in Frankreich:

Stenodictya grandissima Meunier (Fig. 1).

Stenodictya grandissima Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 121, f. 4, 1911.
— — — Annal. Paleont., VII, 11, t. 7, f. 5, 1912.

Fig. 1.



Stenodictya grandissima Meun. × 1.

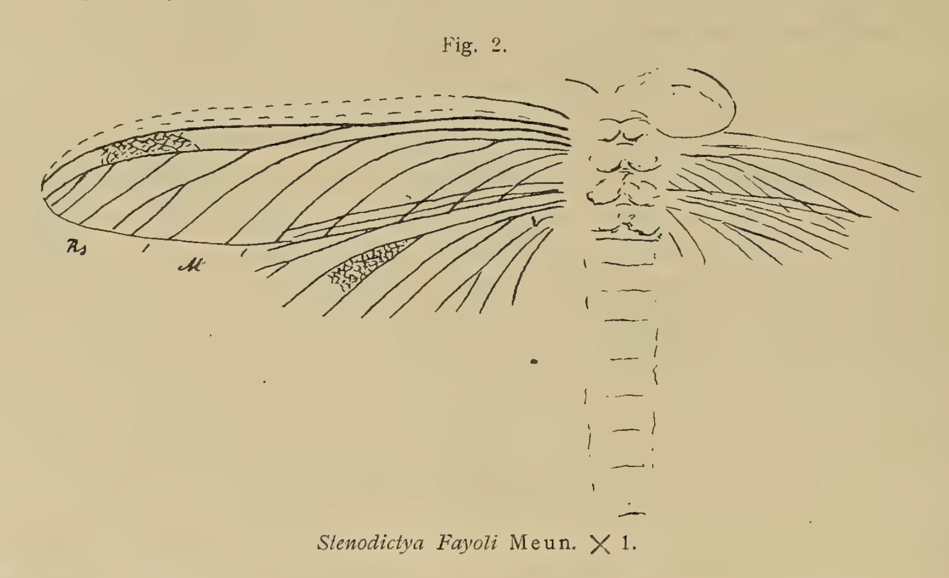
Ein 85 *mm* langer Hinterflügel. Gegen die Basis deutlich verbreitert. Costalfeld sehr schmal. Sector radii knapp vor der Mitte der Flügellänge entspringend, mit einem gegabelten und drei einfachen Ästen. Medialis und Cubitus bilden je eine lange einfache Gabel. Analis 1 mit 3 Ästen, Analis 2 und 3 einfach.

Stenodictya Fayoli Meunier (Fig. 2).

Stenodictya Gaudryi Meunier, Ann. Soc. Sc. Bruxelles, XXXIII, 139. Fig., 1908.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XV, 42, f. 2, 1909.
— *Fayoli* Meunier, Ann. Paleont., IV, 134, t. 1, f. 5, 1909.

Ein Flügel ist fast vollständig vorhanden, von den drei anderen nur der Basalteil. Vom Körper ist ein Teil der Hinterleibssegmente, der Meso- und Metathorax erhalten, ferner einer der herzförmigen Prothorakalflügel. Leider genügt die Photographie hier nicht zur Analyse morphologischer Details, welche aus dem Originalobjekte sicher zu entnehmen wären.

Fig. 2.



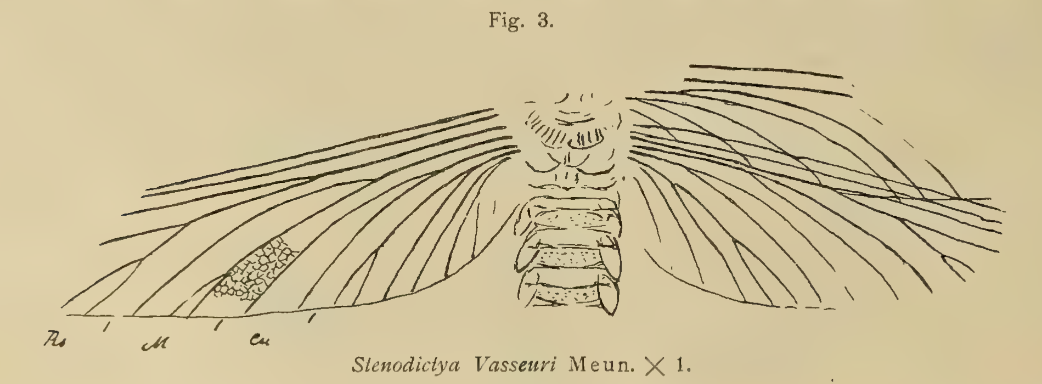
Stenodictya Fayoli Meun. × 1.

Die Länge des Vorderflügels beträgt 70 *mm*. Der Ursprung des Sector radii ist viel weiter gegen die Mitte des Flügels gerückt als bei *Gaudryi*. Von den vier Ästen des Sector ist der erste gegabelt. Die Medialisgabel ist kürzer als bei *Gaudryi*. Der Cubitus bildet eine einfache sehr lange Gabel. Ich sehe nur drei einfache Analadern. Auf dem Hinterflügel scheint die erste Analis gegabelt zu sein.

Stenodictya Vasseuri Meunier (Fig. 3).

Stenodictya Vasseuri Meunier, Bull. Soc. Ent. Fr., 1914 (3), 119, t. 1, 1914.

Fig. 3.



Stenodictya Vasseuri Meun. × 1.

Scheint der *St. grandissima* sehr ähnlich zu sein und sich nur durch kleine Details und geringere Größe zu unterscheiden. Es sind die Basalteile von drei Flügeln erhalten, ein Teil des Thorax

und drei breite Segmente des Abdomens, an denen die abgegrenzten Pleuralplatten sehr gut zu sehen sind. Die Basalhälfte der einzelnen Segmente scheint glatter gewesen zu sein als die Endhälfte.

Der Hinterflügel ist gegen die Basis deutlich verbreitert, sein Costalfeld schmal und gerade, der erste Ast des Sector gegabelt, der hintere Hauptast der Medialis bildet eine kleine Endgabel. Analis 1 mit 2 Ästen. Länge des Flügels auf etwa 75 *mm* zu schätzen.

Stenodictya pygmaea Meunier (Fig. 4).

Stenodictya pygmaea Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 120, f. 3, 1911.
— — — Annal. Paleont., VII, 10, t. 6, f. 3, 1912.

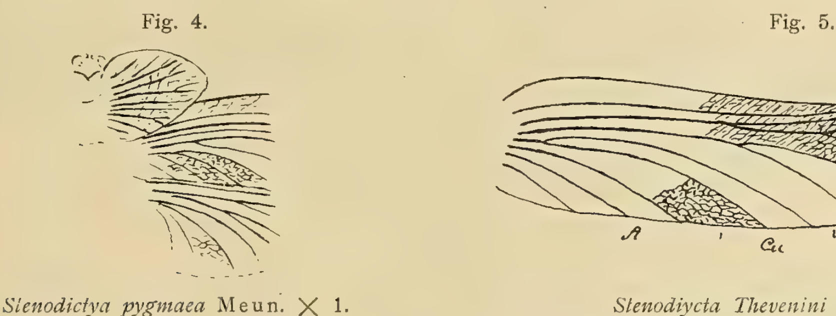
Dieses Fossil zeigt sehr deutlich den mit radial verlaufenden, zum Teil verzweigten Adern versehenen, großen herzförmigen Prothorakalflügel und läßt auch noch den relativ kleinen Kopf erkennen. Von den großen Flügeln, die etwa 40 *mm* lang gewesen sein mögen, ist nur der Basalteil erhalten, der uns allerdings nicht gestattet, die Art mit voller Sicherheit in die Gattung *Stenodictya* zu stellen. Die Analis des Vorderflügels bildet einen flachen Bogen und teilt sich in drei Zweige.

Stenodictya Thevenini Meunier (Fig. 5).

Stenodictya Thevenii Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 154, 1908.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 37, f. 1, 1908.
— *Thevenini* Meunier, Annal. Paleont., IV, 133, t. 1, f. 2, 1909.

Ein Vorderflügel, der nach Meunier's Angabe 92 *mm* lang sein soll, nach der in »grandeur naturelle« dargestellten Abbildung aber nur 75 *mm* erreicht. Der Vorderrand ist auffallend geschwungen.

Fig. 4. Fig. 5.



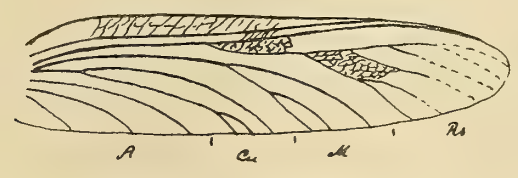
Stenodictya pygmaea Meun. × 1. *Stenodiycta Thevenini* Meun. × 1.

Sector radii deutlich vor der halben Flügellänge entspringend, sein erster Ast gegabelt, der zweite und dritte einfach. Medialis erst distal vom Sectorursprung geteilt, daher eine einfache relativ kurze Gabel bildend. Cubitus dagegen mit sehr langer Gabel. Drei einfache Analadern.

Stenodictya agnita Meunier (Fig. 6).

Microdictya agnita Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 155, 1908.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 39, f. 3, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 136, t. 1, f. 7, 1909.

Fig. 6.



Stenodictya agnita Meun. × 1.

Wenn man überhaupt an einer Trennung der Genera *Stenodictya* und *Microdictya* festhält, so dürfte diese und die folgende Art doch eher zu *Stenodictya* gehören als zu *Microdictya*.

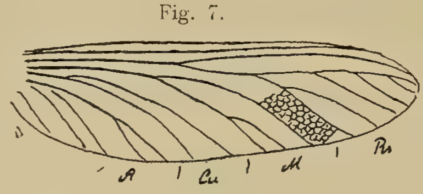
Der vorliegende Vorderflügel mißt nach Meunier's Beschreibung 76 *mm*, nach der Abbildung aber nur 66 *mm*. Der erste Ast des Sectors ist gegabelt. Medialis etwas distal vom Sectorursprung gespalten, ihr Hinterast abermals gegabelt. Auch der Hinterast des Cubitus bildet eine kleine Endgabel. Drei einfache Analadern.

Stenodictya Klebsi Meunier (Fig. 7).

Microdictya Klebsi Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 154, 1908.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 38, f. 2, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 135, t. 2, f. 1, 1909.

Vermutlich ein Hinterflügel. Die Länge beträgt nach Meunier's Text 72 *mm*, nach der um $^1/_9$ reduzierten schematischen Abbildung 58 und nach dem Photogramm, welches in nat. Größe sein soll, 54 *mm*. Vielleicht ist keine der drei Angaben richtig. Der Sector radii zeigt einen gegabelten und drei

Fig. 7.



Stenodictya Klebsi Meun. × 1.

einfache Äste. Die Medialis teilt sich etwas proximal vom Sectorursprung und ihr Hinterast bildet eine kleine Endgabel. Der Cubitus erscheint als einfache lange Gabel. Aus der ersten Analader entspringen zwei Äste nach hinten, dann folgen noch zwei einfache Analadern.

Genus: **Microdictya** Brongn.

Ist kaum scharf von *Stenodictya* zu trennen. Vorder- und Hinterflügel scheinen in der Mitte am breitesten zu sein. Der hintere Ast der Medialis zerfällt in drei, jener des Cubitus in zwei Zweige.

Zu den zwei in Foss. Ins. genannten Brongniart'schen Arten: *Vaillanti* und *Hamyi* kommen zwei von Meunier beschriebene und eine neue Art. Sie stammen alle aus Commentry.

Microdictya Lacroixi Meunier (Fig. 8).

Microdictya Lacroixi Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVI, 235, f. 2, 1910.
— — — Annal. Paleont, VII, 6, t. 6, f. 2, 1912.

Abbildung und Text stimmen diesmal in Bezug auf die Längenangabe 50 *mm* überein. Der Vorderrand des schönen Flügels ist leicht geschwungen. Der Sector radii entspringt vor dem ersten Drittel der Flügellänge; sein proximaler Ast zerfällt durch doppelte Gabelung in vier Zweige. Medialis proximal vom Sector entspringend, ihr Vorderast einfach, der hintere in drei Zweige geteilt. Cubitus eine sehr lange Gabel mit abermals gegabeltem Hinteraste bildend. Analis 1 mit 2 nach hinten auslaufenden Ästen. Analis 2 einfach.

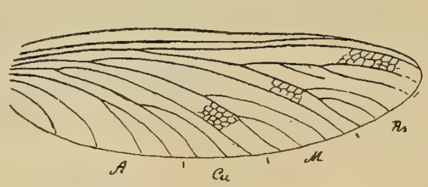
Microdictya Villeneuvi Meunier (Fig. 9).

Microdictya Villeneuvi Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 245, f. 1, 1908.
— — — Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 136, t. 1, f. 4, 1909.

Fig. 8.

Microdictya Lacroixi Meun. × 1.

Fig. 9.



Microdictya Villeneuvi Meun. × 1.

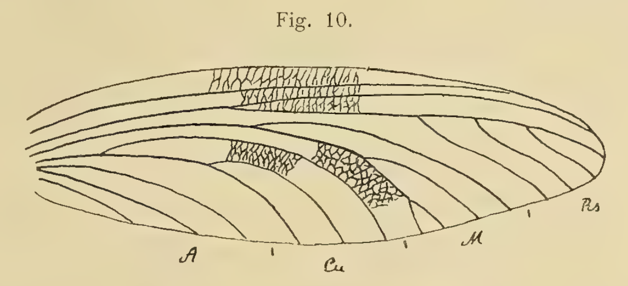
Ein nach dem Photogramm etwa 53 *mm* langer Flügel. Sector radii in etwa $^1/_3$ der Flügellänge entspringend, sein proximaler Ast in drei Zweige geteilt, der nächste nur angedeutet, der (dritte) letzte

einfach. Medialis weit proximal vom Sectorursprung gespalten, ihr Hinterast in drei Zweige geteilt. Cubitus mit gegabeltem Hinterast, Analis 1 gegabelt, 2 und 3 einfach.

Microdictya latipennis n. sp. (Fig. 10).

Das Original befindet sich im British Museum, stammt aus Commentry und trägt die Nummer J. 7287. Es zeigt beide Vorderflügel in guter Erhaltung. Die Länge eines Flügels beträgt 77 *mm*. Der Vorderrand verläuft in flachem Bogen und der Hinterrand ist sanft geschwungen. Der Sector radii

Fig. 10.



Microdictya latipennis n. sp. × 1.

entspringt distal vom ersten Drittel der Flügellänge und bildet nur drei einfache Äste. Die Medialis gabelt sich distal vom Ursprung des Sectors und ihr Hinterast zerfällt in drei Zweige. Cubitus mit gegabeltem Hinterast, sehr stark gebogen. Drei Analadern einfach, flache Bögen bildend.

Genus: Dictyoptilus Brongn.

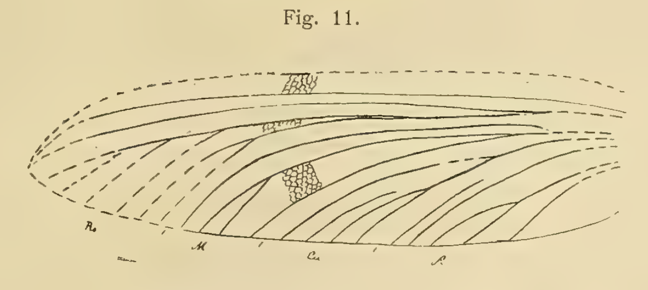
Mit bisher einer Art: **Renaulti** Brongn. aus Commentry. Ist wohl mit *Stenodictya* nahe verwandt, aber jedenfalls einer neuen Untersuchung an der Hand des Originales bedürftig.

Genus: Haplophlebium Scudder.

Erst eine Art aus dem ? mittleren Obercarbon von Sydney, Cap Breton, Nordamerika.

H. Barnesii Sc. (Fig. 11). Bedarf gleichfalls einer Nachuntersuchung des Originales. Nach Brongniart's Abbildung dürfte das Costalfeld breit gewesen sein und die Subcosta nicht (wie ich vermutete) weit vor dem Ende mit der Costa vereinigt. Medialis und Cubitus scheinen aus je einem

Fig. 11.



Haplophlebium Barnesii Scudder × 1.

einfachen Vorder- und dreiteiligen Hinterast zu bestehen, doch bildet, im Gegensatz zu den vorhergehenden Gattungen, die Medialis, welche so wie der Radius schon sehr nahe der Flügelbasis gespalten ist, eine viel längere Gabel als der Cubitus. Von den drei Analadern scheinen die beiden ersten gegabelt zu sein. Das Zwischengeäder bildet wie bei *Stenodictya* ein sehr feinmaschiges Netzwerk.

Genus: Stenodictyoneura Leriche.

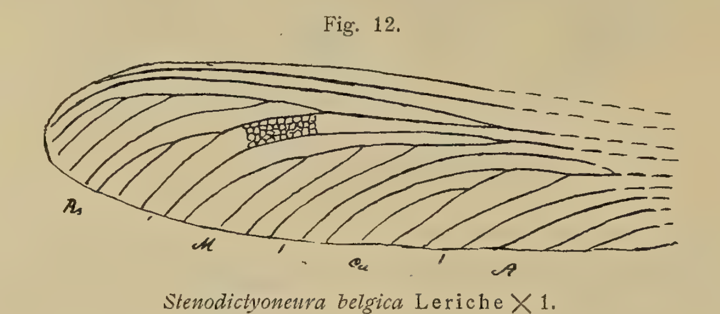
Bisher eine einzige Art aus dem Westphalien von St. Ghislain in Belgien:

Stenodictyoneura belgica Leriche (Fig. 12).

Stenodictyoneura belgica Leriche, Ann. Soc. Geol. Belg., XXXVIII, 193, t. 12, 1911.

Diese Form ist sicher mit *Stenodictya* und *Microdictya* nahe verwandt, aber, wenn ich mich nicht täusche, noch ursprünglicher, denn die drei Hauptadern Radius, Medialis und Cubitus zeigen noch die gleiche Anlage und bilden die nach hinten immer kleiner werdende Wiederholung desselben Bildes. Der Sector des Radius sendet vier Äste nach hinten, von denen der erste in drei Zweige zerfällt; der Sector (Hinterast) der Medialis sendet drei einfache und jener des Cubitus einen einfachen

Fig. 12.



Stenodictyoneura belgica Leriche × 1.

und einen gegabelten Ast nach hinten; dann folgen vier einfache Analadern. Der ganze Flügel zeigt feines netzförmiges Zwischengeäder und ist fast elliptisch, etwa $3^1/_2$ mal so lang als breit. Seine Länge beträgt etwa 84 *mm.*

Ein Vergleich meiner Abbildung, die ich nach dem Photogramm des Autors (t. 12, f. 1) hergestellt habe, läßt einige auffallende Unterschiede von der Rekonstruktion Leriche's erkennen. Ich zweifle nicht daran, daß eine neuerliche Untersuchung des Originales die Richtigkeit meiner Deutung bestätigen wird.

Genus: Dictyoneura Goldenb.

Dieses Genus ist mit *Microdictya* nahe verwandt. Der Hinterast der Medialis zerfällt in zwei Gabeln, also vier Zweige, während jener des Cubitus nur eine Gabel bildet. Die größte Breite der Flügel, die wohl beide als Hinterflügel zu deuten sind, fällt in die Basalhälfte und das Zwischengeäder bildet ein mehr weitmaschiges Netzwerk.

Dictyoneura libelluloides Goldenb. wurde von Schlechtendal 1913 in den Nov. Act. Leop., Vol. 98, t. 1, f. 8, t. 8, f. 2 abgebildet. Die Abweichungen von meinem Bilde sind geringfügig.

Dictyoneura nigra Kliver stammt aus den mittleren Saarbrücker Schichten von Frankenholz in der Rheinpfalz.

Genus Mammia Handl.

Außer der einen von mir beschriebenen amerikanischen Art **alutacea** Handl. ist nichts bekannt. Es handelt sich vermutlich um einen Hinterflügel von ähnlicher Form wie *Dictyoneura,* doch entspringt der Sector radii viel weiter distal.

Genus Titanodictya Handl.

Auch hier ist nichts beizufügen. Die einzige bekannte Form. **jucunda** Scudder, stammt aus Nordamerika und erinnert sehr an *Dictyoneura.* Es ist vermutlich auch ein Hinterflügel, der aber auffallend weitläufiges Zwischengeäder zeigt.

Genus: Polioptenus Scudder.

Die drei aus den Saarbrücker Schichten stammenden Arten, die ich in dieser Gattung vereinigte, wurden 1913 von Schlechtendal in den Nov. Akt. Vol. 98 abgebildet:

Pol. elegans Gold.. t. 1, f. 18, t. 8, f. 3. Kaum wesentlich. von meinem Bild verschieden.

Pol. Schmitzi Gold., t. 2, f. 20, t. 8, f. 4. Letztere Figur ist wohl nicht richtig.

Pol. obsoletus Gold., t. 2, f. 1, t. 8, f. 5. Stellt den Gegendruck des von mir dargestellten Exemplares vor.

Die von mir erwähnte auffallende Verschmälerung der Flügel gegen die Basis zu im Vergleiche zu jenen von *Dictyoneura* beruht vielleicht darauf, daß es sich hier um Vorderflügel, dort um Hinterflügel handelt. Die Frage kann wohl erst mit reicherem Materiale entschieden werden.

Genus: Anagesthes Handl.

Die einzige von mir zur Begründung dieser provisorischen Gattung verwendete Art *affinis* Goldenb. aus den Saarbrücker Schichten wurde von Schlechtendal, l. c. t. 1, f. 6, t. 8, f. 6, wieder abgebildet.

Diese Figuren geben uns auch keinen näheren Aufschluß über das Fossil, welches vielleicht einmal mit *Stenodictya* zusammenfallen wird.

Genus: Goldenbergia Scudder.

Die einzige Art *G. elongata* Goldenb. wurde von Schlechtendal, l. c. t. 1, f. 19 und t. 8, f. 7. abgebildet. Ich habe meiner Beschreibung nichts Wesentliches beizufügen.

Genus: Sagenoptera Handl.

Nichts beizufügen als neue Abbildungen der einzigen Art *S. formosa* Gold. von Schlechtendal t. 1, f. 5 und t. 8, f. 8. Sie sind nach demselben Objekte hergestellt wie meine Abbildung. T. 1. f. 5, läßt keine Details erkennen, t. 8, f. 8 ist sicher gegen die Basis zu in der unteren Hälfte unrichtig gedeutet, denn ein solches Geäder, wie es sich aus diesem Bilde ergeben würde, ist undenkbar. Die Gattung bleibt daher nach wie vor etwas problematisch.

Genus: Acanthodictyon Handl.

Auf eine einzige Art: *Decheni* Gold. begründet, die von Schlechtendal, t. 1, f. 9 und t. 9, f. 1 *a* bis *c*, wieder abgebildet wurde. Dazu möchte ich nur bemerken, daß die Fig. 1 *c*, welche den Hinterflügel darstellen soll, der sich tatsächlich vom Vorderflügel nur unbedeutend unterscheidet, jedenfalls nicht richtig sein kann, denn ein solcher Aderverlauf erscheint bei einem Tiere aus dieser Verwandtschaft ausgeschlossen.

Genus: Eumecoptera Handl.

Der einzige bisher bekannte Vertreter dieser Gattung: *E. laxa* Gold. wurde von Schlechtendal t. 2, f. 2 und t. 9, f. 2, wieder abgebildet. Die kleinen Unterschiede zwischen unseren Bildern — zum Beispiel der Hinterast der Medialis — sind belanglos.

Genus: Stilbocrocis Handl.

Das Original *St. Heeri* Gold. wurde von Schlechtendal wieder untersucht und abgebildet, t. 1, f. 3, 4 und t. 9, f. 3 *a—e*.

In Bezug auf das Geäder ergibt sich aus diesen Bildern nichts, was meine Ansichten alterieren könnte. Die Beine sind so unklar, daß ich sie lieber bei der Zeichnung weggelassen habe.

Rekonstruktion: Handb. d. Entom., III, 129, f. 55.

?Genus: Dictyoneurula Handl.

Die von mir hier eingereihten Fossilien aus den Saarbrücker Schichten *gracilis* Kliver und *Kliveri* Handl. können wohl erst an der Hand neuen Materials endgültig eingereiht werden. Sie sind jedenfalls mit *Stenodictya* und *Microdictya* nahe verwandt.

? Genus: Gegenemene Handl.

Für diese Form *sinuosa* Kliver gilt das Gleiche wie für die Dictyoneurula-Arten.

? Genus: Progonopteryx Handl.

Die hieher gestellte Art *belgica* Handl. ist jedenfalls generisch von allen vorhergehenden verschieden, kann aber nach dem vorliegenden Fragmente nicht hinlänglich charakterisiert werden. Es läßt sich auch noch nicht mit voller Sicherheit sagen, ob das Fossil zu den Dictyoneuriden gehört.

? Genus: Litoneura Scudder.

Beruht auf einem sehr unvollständigen Fragment aus den Saarbrücker Schichten: *anthracophila* Goldenb., welches von Schlechtendal neuerdings als Photogramm dargestellt wurde (t. 1, f. 12). Auch dieses Bild trägt nichts zur definitiven Deutung bei. Um eine Dictyoneuride dürfte es sich wohl handeln.

Genus: Athymodictya Handl.

Begründet auf eine nordamerikanische Art

A. parva Handlirsch.

Athymodictya parva Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 298, f. 1, 2, 1911.

Diese kleine Form weicht wohl in dem gegabelten Vorderast der Medialis aller Flügel und in dem gegabelten Vorderast des Cubitus der Hinterflügel etwas von dem allgemeinen Typus der Dictyoneuriden ab, stimmt aber in dem Gesamtcharakter des Körpers und dem dichten Zwischengeäder so auffallend mit den anderen Formen überein, daß ich mich vorläufig nicht zu einer Abtrennung entschließen kann.

? Genus: Gerephemera Scudder.

Nach wie vor bleibt dieses Fragment: *G. simplex* Sc. eine dubiose Gattung.

Zu den Dictyoneuriden gehören offenbar noch die folgenden ungenügend erhaltenen oder unzulänglich beschriebenen Fossilien:

(Dictyoneuridae) Humboldtiana Goldenb.

Von Schlechtendal, t. 1, f. 10 und t. 9, f. 4, wieder abgebildet.

(Dictyoneuridae) rugosa Goldenb.

Von Schlechtendal, t. 9, f. 5, wieder abgebildet.

(Dictyoneuridae) amissa Goldenb.

Von Schlechtendal, t. 10, f. 2, wieder dargestellt.

(Dictyoneuridae) **macrophlebia** Goldenb.

Von Schlechtendal, t. 10, f. 1 *a, b,* wieder abgebildet, aber trotzdem wie die vorigen Arten nicht zu deuten.

(Dictyoneuridae) **Heeri** Brongn.

»*Eugereon Heeri*« Brongn., 1885, ist jedenfalls eine Form aus der Verwandtschaft von *Stenodictya* und dürfte später von Brongniart selbst unter anderem Namen beschrieben worden sein. Daher als nomen delendum zu betrachten.

(?Dictyoneuridae) **sp.** Fritsch.

»*Eugereon*« —, Fritsch, 1879 et 1901.

Nach dem netzartigen Zwischengeäder zu schließen, dürfte es sich hier um eine *Dictyoneuride* handeln.

Fam. Peromapteridae Handl.

Genus: Peromaptera Brongn.

Peromaptera Filholi Brongn. ist leider noch immer der einzige Vertreter dieser Gruppe, die sich aufs engste an die Dictyoneuriden anschließt. Wäre nur der Vorderflügel vorhanden, so würde ich das Fossil für eine *Microdictya* halten. In dem stark reduzierten Hinterflügel muß ich jedoch ein Zeichen einseitiger Spezialisation erblicken.

Fam. Cockerelliellidae n. fam.

Meunier beschrieb zwei außerordentlich interessante Fossilien aus Commentry, natürlich ohne die wirklich interessanten morphologischen Charaktere erfaßt zu haben.

Genus: Cockerelliella Meunier.

Wie in der vorhergehenden Familie ist auch hier eine eigenartige Spezialisation durch Verkürzung des Hinterflügels eingetreten, aber sie erstreckt sich nicht wie dort auf den ganzen Flügel, sondern nur auf den Cubito-Analteil, während der Radio-Medialteil wenig beeinträchtigt erscheint. Im normalen Vorderflügel sind Radius, Medialis und Cubitus noch in der für Dictyoneuriden charakteristischen Art gebaut. Das Zwischengeäder besteht in einzelnen Feldern noch in dem ursprünglichen dichten Netzwerk, während besonders in den länger gestreckten Feldern bereits dicht gedrängte Queradern zu sehen sind.

Als Typus der Gattung und Familie betrachte ich:

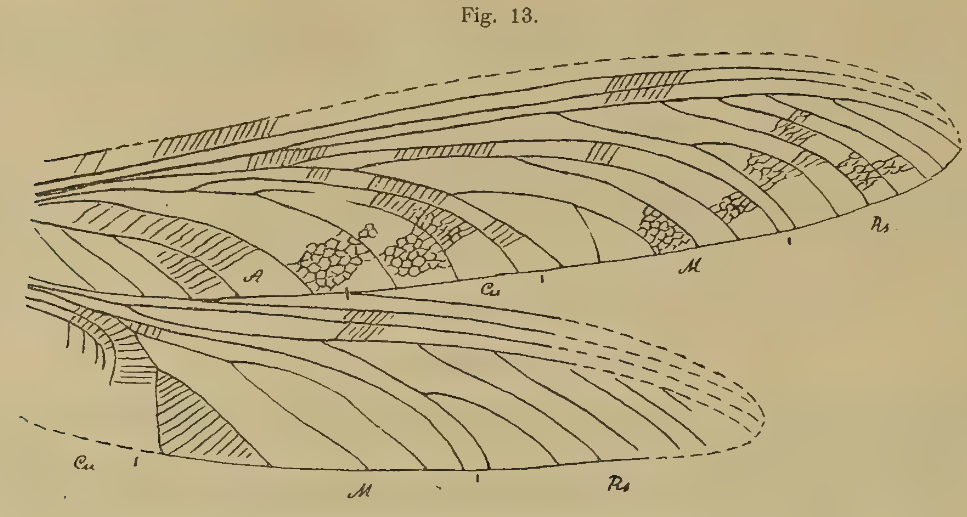
Cockerelliella peromapteroides Meunier (Fig. 13).

Cockerellia peromapteroides Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 154, 1908.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 36, f. 2, 1908.
Cockerelliella peromapteroides Meunier, Annal. Paleont., IV, 132, t. 1, f. 3, 1909.

Von diesem Fossil ist fast der ganze Vorderflügel und ein großer Teil des Hinterflügels erhalten. Ersterer mißt nach Meunier, p. 132, 130 *mm,* nach Meunier, p. 133, »probablement« 100 *mm,* nach der Abbildung jedoch 124 *mm.* Letzterer würde dann auf etwa 100 *mm* zu schätzen sein. Der Sector radii ist in beiden Flügeln fast gleich gebaut; sein erster Ast bildet eine große Gabel, die folgenden (4 oder 5) Äste sind einfach. Die Medialis ist im Hinterflügel bereits verkürzt, zeigt aber, abgesehen von dem Fehlen eines Zweiges in der letzten Gabel des Hinterflügels, noch annähernd gleichen Bau. Der Cubitus bildet im Vorderflügel noch die typische, in flachem Bogen verlaufende lange Gabel mit geteiltem Hinteraste, während er im Hinterflügel bereits stark deformiert erscheint, ganz eigentümlich

verkürzt und stark gegen den Hinterrand hinuntergebogen. Analis 1 des Vorderflügels erscheint einfach, Analis 2 dagegen sendet drei Äste nach hinten aus, so daß die ganze Analgruppe, als Einheit aufgefaßt, hier sogar noch die gleiche Gliederung erkennen läßt, wie die anderen Hauptadern. Von der Analis des Hinterflügels ist nichts deutlich genug erhalten.

Fig. 13.



Cockerelliella peromapteroides Meun. × 1.

Wer die hier beigefügte nach Meunier's Photogramm hergestellte Skizze mit der schematischen Figur und Beschreibung Meunier's vergleicht, wird sofort erkennen, daß dieser Autor nicht fähig ist, die wesentlichen Merkmale eines Fossils auch nur annähernd richtig zu erfassen und darzustellen. Was seine kritischen Bemerkungen betrifft und seine systematischen Anschauungen, so können sie natürlich in keiner Weise ernst genommen werden. Ich würde es als Vergeudung von Papier und Druckerschwärze betrachten, sie hier im einzelnen zu widerlegen.

Cockerelliella sepulta Meunier (Fig. 14).

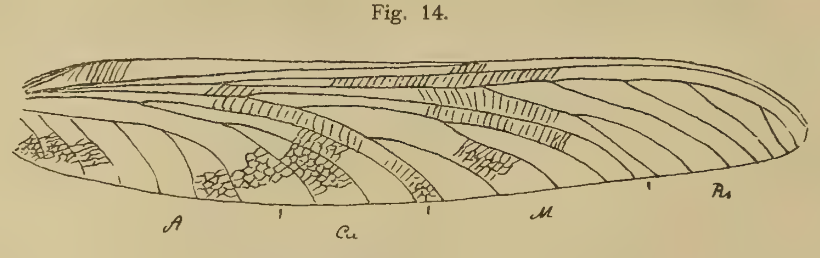
Cockerellia sepulta Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXIV, 195, 1910.

— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XVI, 235, f. 3, 1910.

Cockerelliella sepulta Meunier, Annal. Paleont., VII, 6. Fig., t. 6, f. 4, 1912.

Druck und Gegendruck eines wunderschönen Flügels gestatten es, eine vollkommene Zeichnung herzustellen. Die Länge des ganzen »Palaeodictyopterons« beträgt nach Meunier's Angabe 87 *mm*. Er hat aber nur das größere Fragment gemessen, denn sonst wäre er auf die Flügellänge von 105 *mm*

Fig. 14.



Cockerelliella sepulta Meun. × 1.

gekommen. Jedenfalls handelt es sich um einen Vorderflügel, dessen Radius, Medialis und Cubitus ganz ähnlich gebaut sind wie bei *peromapteroides*. Ein wesentlicher Unterschied liegt in der Analgruppe, denn es fehlt die dort erhaltene erste einfache Ader, während die verzweigte noch besser

ausgebildet ist und fünf Äste gegen den Hinterrand entsendet. Es kann sein, daß es sich hier um eine Differenz von höherer Bedeutung handelt, die vielleicht auch mit gewissen Unterschieden im Hinterflügel in Korrelation stehen und zur Aufstellung eines eigenen Genus berechtigen könnte. Jedenfalls wollen wir weitere Funde abwarten.

? Fam. **Archaemegaptilidae** n. fam.

Ich sehe mich veranlaßt, für eines der von Meunier beschriebenen Fossilien aus Commentry eine provisorische Familie zu errichten, weil diese leider recht unvollständig erhaltene Form in keine andere Gruppe hineinpaßt.

Es handelt sich offenbar um eine relativ noch ursprüngliche Form, deren Zwischengeäder zum Teile aus unregelmäßigem Netzwerke besteht, zum Teile allerdings schon zu Queradern geordnet ist. Die Äste des Sector und der Medialis biegen sich auffallend stark nach unten (hinten).

Genus: **Archaemegaptilus** Meunier.

Archaemegaptilus Kiefferi Meunier (Fig. 15).

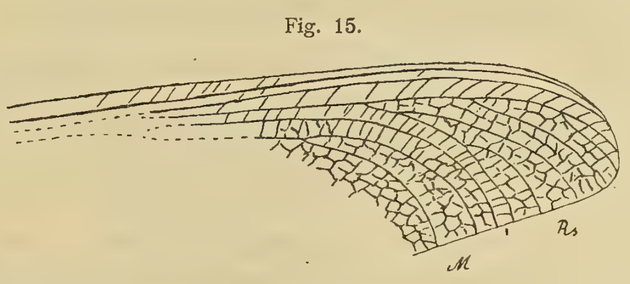
Archaemegaptilus Kiefferi Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 155, 1908.

— — — Bull. Mus. Hist. Nat.. XIV, 175, f. 3, 1908.

— — — Annal. Paleont., IV, 138, t. 2, f. 2, 1909.

Was Meunier mit seiner Maßangabe: »Vorderflügel 22 *mm* lang und 33 *mm* breit« meint, ist mir vollkommen rätselhaft, denn der erhaltene Teil ist nach den Abbildungen schon 80 *mm* lang aber

Fig. 15.



Archaemegaptilus Kiefferi Meun. × 1.

nur 25 *mm* breit. Jedenfalls hatte der Flügel, von dem man natürlich nicht sagen kann, ob er dem ersten oder zweiten Paare angehörte, eine ganz andere, viel schlankere Form als jener von *Megaptiloides Brodiei* Br., mit dem ihn Meunier vergleicht. Ich wenigstens würde es für sehr gewagt halten, die beiden Formen in dieselbe Verwandtschaftsgruppe zu stellen.

? Fam. **Megaptilidae** Handl.

Über diese gleichfalls auf einen einzelnen unvollständigen Flügel, **Megaptilus Blanchardi** Brongn. errichtete provisorische Gruppe ist nichts weiter zu berichten.

Gleiches gilt für die

Fam. **Hypermegethidae** Handl.

die ich auf ein Fragment einer nordamerikanischen Riesenform, **Hypermegethes Schucherti** Handl. errichtete, und für die

Fam. **Mecynopteridae** Handl.

mit ihrer einzigen Form **Mecynoptera splendida** Handl. aus Belgien.

Hier dürften sich am besten zwei seit dem Erscheinen der Foss. Ins. bekannt gewordene Typen einreihen lassen, die vielleicht später einmal mit gewissen Typen der Lithomantiden in nähere Verbindung gebracht werden können.

Fam. **Syntonopteridae** Handl.

Genus: Syntonoptera Handl.

Syntonoptera Schucherti Handl. aus dem Carbon des Mazon Creek.

Syntonoptera Schucherti Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 299, f. 3, 1911.

? Fam. **Pteronidiidae** m. (**Pteronidiae** Bolton).

Genus: Pteronidia Bolton.

Pteronidia plicatula Bolton, aus dem mittleren Obercarbon von Derbyshire.

Pteronidia plicatula Bolton, Qu. Journ. Geol. Soc., LXVIII, 313, t. 32, f. 1—3, 1902.

Ein etwas fragliches Tier.

Fam. **Orthocostidae** Bolton.

Genus: Orthocosta Bolton.

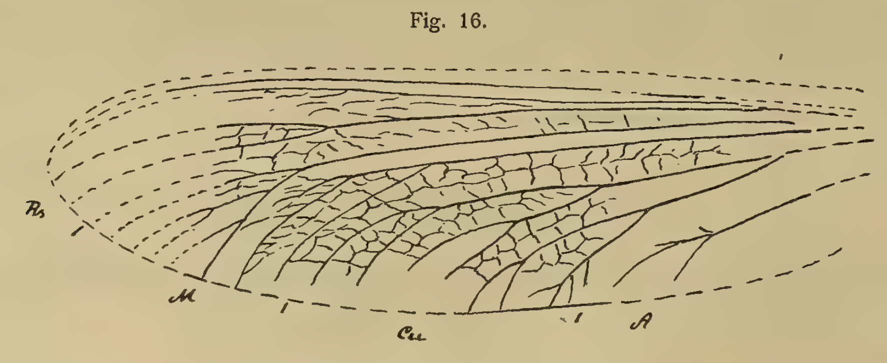
Orthocosta splendens Bolton (Fig. 16).

Orthocosta splendens Bolton, Qu. Journ. Geol. Soc., LXVIII, 310, t. 31, f. 1—3, 1912.

Dieses Fossil stammt aus dem mittleren Obercarbon von Ilkeston, Derbyshire, England.

Der Flügel ist relativ breit elliptisch und dürfte etwa 110 *mm* lang gewesen sein. Der Radius mit seinem etwas reduzierten Sector, der sehr nahe der Basis abzweigt, ist noch in der typischen

Fig. 16.



Orthocosta splendens Bolton × 1.

Weise ausgebildet, Medialis und Cubitus dagegen erscheinen bereits stark modifiziert: sie zerfallen nahe der Basis in zwei Hauptäste, welche jedoch beide verzweigt sind, und zwar der vordere reicher als der hintere Ast. Das Zwischengeäder bildet ein sehr unregelmäßiges weitmaschiges Netzwerk.

Fam. **Lithomantidae** Handl.

Von den in den Foss. Ins. enthaltenen Formen gehören wohl die folgenden, wenigstens nach dem Bau der Medialis und des Cubitus in eine Verwandtschaftsreihe:

Lithomantis carbonaria Woodw. aus Schottland.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Entomol., III, 132, f. 59.

Hadroneuria bohemica Nowak aus Böhmen.

Eurythmopteryx antiqua Handl. aus Nordamerika.

Stobbsia Woodwardiana Handl. aus England.

Dagegen stimmen einige andere Arten in den verzweigten Vorderästen von Medialis oder Cubitus mit Syntonopreriden und Orthocostiden überein:

Lithosialis Brongniarti Mant.

aus England, die wahrscheinlich identisch ist mit der von Keferstein 1834 erwähnten »*Mantispa*«,

Eurytaenia virginiana Handl. aus Nordamerika und vermutlich **Catadysethus priscus** Handl. aus Böhmen.

Propalingenia Feistmanteli Fritsch aus Böhmen läßt die betreffenden Merkmale nicht erkennen.

Fam. **Rhabdoptilidae** n. fam.

Ich halte es für nötig, die als

Rhabdoptilus Edwardsi Brongn. aus Commentry

beschriebene Form aus der Gruppe der Lithomantiden auszuscheiden, denn bei ihr ist das Zwischengeäder auffallend hoch entwickelt und zu einem System paralleler, dicht gedrängter feiner Queradern geworden. Radius, Medialis und Cubitus sind von ursprünglichem Bau, der noch an Dictyoneuriden erinnert.

Fam. **Lycocercidae** Handl.

Für diese Familie ist eine Vermehrung der Längsaderäste charakteristisch. Das Zwischengeäder besteht aus zahlreichen Queradern, die in den breiteren Feldern stellenweise noch netzartig verschlungen sind. Wie uns ein neuer Fund bestätigt, sind große Prothorakalflügel mit einem deutlichen radiär verlaufenden Geäder vorhanden. Der Kopf ist relativ groß. An dem neuen Fossil sind zwei Flügel in der typischen ausgebreiteten Stellung vorhanden. Einer davon entspricht seiner Lage nach dem Vorderflügel, der andere dem Hinterflügel. Der Form nach würde man diese Flügel unbedingt anders bezeichnen, denn der erstere ist gegen die Basis viel breiter als der letztere. Der Vorderrand freilich spricht dafür, daß sich die Flügel tatsächlich in der richtigen Lage befinden und wir hätten dadurch ein neues Familienmerkmal: Vorderflügel breiter als die Hinterflügel, mit leicht geschwungenem Vorderrande; Hinterflügel elliptisch mit gleichmäßig gebogenem Vorderrande und kürzeren, stark heruntergebogenen zahlreichen Analadern, von denen einige verzweigt sind. Die Zeichnung der Flügel bestand aus breiten, nicht scharf abgegrenzten Querbinden.

Genus Lycocercus Handl.

Lycocercus Goldenbergi Brongn. aus Commentry.

Die beiden an dem Fossil erhaltenen Flügel sind nach obigem Befund wohl Vorderflügel.

Lycocercus Brongniarti Handl. aus Commentry, jedenfalls auch ein Vorderflügel.

Dazu kommt nun:

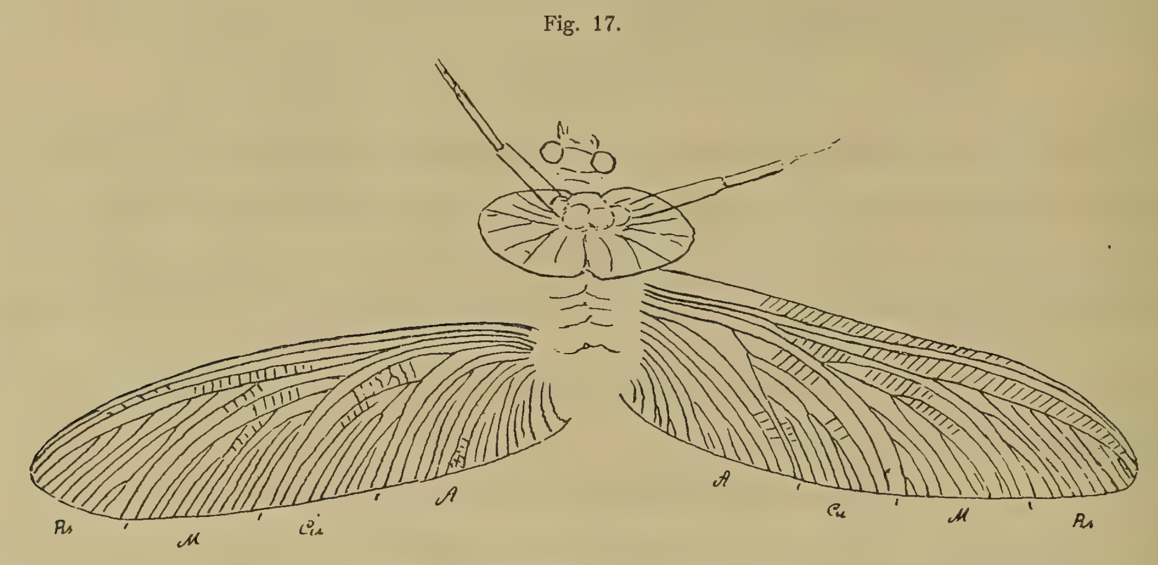
Lycocercus pictus m. aus Commentry (Fig. 17).

Homoioptera Brongniarti Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat. XVII, 121, f. 5, 1911.

— — — Annal. Paleont., VII, 11, t. 7, f. 6, 1912.

Daß dieses schöne Fossil nicht, wie Meunier glaubt, zu *Homoioptera* gehört, wird jeder sofort erkennen, der die Abbildungen vergleicht. Nachdem bei *Lycocercus* schon eine Art mit dem Namen *Brongniarti* existiert, mußte die jüngere umgetauft werden. Die Flügellänge beträgt fast 70 *mm*.

Fig. 17.



Lycocercus pictus Handl. × 1 (umklischiert).

Ob **Platephemera antiqua** Scudder aus der Little River Group in New Brunswig hier einzureihen ist, erscheint mir noch zweifelhaft. Die Verzweigung der Medialis scheint doch viel ursprünglicher zu sein als bei *Lycocercus*.

Fam. **Homoiopteridae** Handl.

Für diese Gruppe, welche durchwegs stattliche Formen enthält, scheint die starke Vorbiegung von Radius und Medialis im Basalteile, die mäßig starke Verzweigung der Adern und die relativ große Zahl von Queradern charakteristisch zu sein. Die Medialis ist noch nach dem Typus des Radius gebaut, doch ist ihre Gabelung weit von der Basis abgerückt. Der Cubitus teilt sich schon viel mehr proximal und seine beiden Äste sind verzweigt. Analadern in größerer Zahl ausgebildet. Prothorakalflügel gut entwickelt.

Genus Homoioptera Brongn.

mit **Homoioptera Woodwardi** Brongn. aus Commentry.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 134, f. 61.

Genus Graphiptiloides Handl.

mit **Graphiptiloides Williamsoni** Brongn. aus Commentry.

Genus Homoeophlebia Handl.

Homoeophlebia gigantea Agnus aus Commentry mit 190 *mm* langem Vorderflügel.

Hier kommt dazu:

Homoeophlebia Gaulleyi Meunier (Fig. 18).

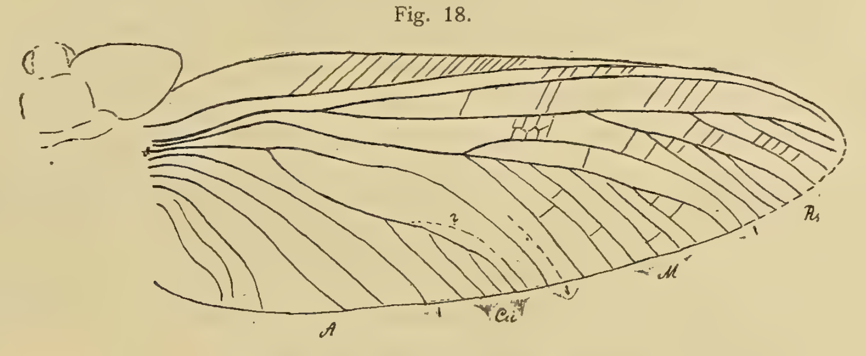
Archaeoptilus Gaulleyi Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVI, 233, f. 1, 1910.

— — — Annal. Paleont., VII, 5. Fig., t. 1, f. 1, 1912.

Für eine generische Vereinigung dieses Fossils mit den als *Archaeoptilus* beschriebenen Fragmenten ist außer der bedeutenden Größe vorläufig gar kein triftiger Grund vorhanden.

Die Flügellänge des von Meunier abgebildeten Fossils dürfte kaum wesentlich von jener der *gigantea* verschieden sein. Leider ist auch hier wie dort die photographische Abbildung nicht deutlich

Fig. 18.



Homoeophlebia Gaulleyi Meun. Etwa $^1/_2$.

genug, um eine ganz sichere Rekonstruktion vorzunehmen. So viel zeigt sie immerhin, daß Meunier's schematisches Bild in vielen Punkten absolut falsch ist.

Eine neue Untersuchung beider Originale wird wohl leicht ergeben, ob *gigantea* und *Gaulleyi* nicht vielleicht gar Druck und Gegendruck ein und desselben Fossils sind und ob die kleinen Abweichungen in meinen nach den Photogrammen hergestellten Skizzen nicht etwa nur auf die Undeutlichkeit dieser zurückzuführen sind.

Genus Anthracentomon Handl.

mit **Anthracentomon latipenne** Handl. aus Belgien.

Fam. **Homothetidae** Scudder.

Genus Homothetus Scudder.

Homothetus fossilis Scudder aus New Brunswig.

Unterscheidet sich von allen vorhergehenden Formen durch die gegen die Basis auffallend verschmälerten Flügel.

? Fam. **Heolidae** Handl.

Genus Heolus Handl.

Heolus Providentiae Handlirsch aus Nordamerika.

Ist leider nicht hinlänglich gut erhalten. Was ich als erste Analader gedeutet habe, kann auch der zweite Hauptast des Cubitus sein.

? Fam. **Cryptoveniidae** Bolton (emend. Handl.).

Cryptovenidae Bolton.

Ein einzelner durch schräg gestellten Spitzenrand mehr dreieckig geformter und dadurch etwas an die folgenden Breyeriiden erinnernder Flügel, mit denen auch die zahlreichen feinen Queradern übereinstimmen.

Genus Cryptovenia Bolton.

Cryptovenia Moysei Bolton (Fig. 19).

Cryptovenia Moyseyi Bolton, Qu. Journ. Geol. Soc., LXVIII, 315, t. 32, f. 4—6, 1912.

Aus England: Ilkeston, Derbyshire. Ein auffallend kleines Tier von etwa 18 *mm* Flügellänge. Schade, daß Bolton den einen Abdruck behufs Herauspräparierung eines darunterliegenden wertlosen Farnblättchens demoliert hat. Der Umriß ist vom Autor nicht richtig wiedergegeben.

Fig. 19.

Cryptovenia Moysei × 3·5.

Der Sector radii entspringt etwas vor der Flügelmitte und bildet nur einen gegabelten und zwei einfache Äste. Der einfache Vorderast der Medialis entspringt proximal vom Sector radii, der Hinterast zerfällt in drei Zweige. Der Cubitus gabelt sich schon nahe der Basis, sein Vorderast bildet drei, sein Hinterast zwei Zweige. Zahlreiche Analadern ziehen in steilem Bogen zum Hinterrande. Die feinen parallelen Queradern liegen sehr schräg und sind dicht gedrängt.

Fam. Breyeriidae Handl.

In diese durch auffallend dreieckige Flügel charakterisierte Gruppe gehört außer den in den Foss. Ins. erwähnten Formen:

Breyeria borinensis Borre aus Belgien,

Borrea Lachbani Brongn. und

? **Megaptiloides Brodiei** Brongn. aus Commentry noch eine weitere:

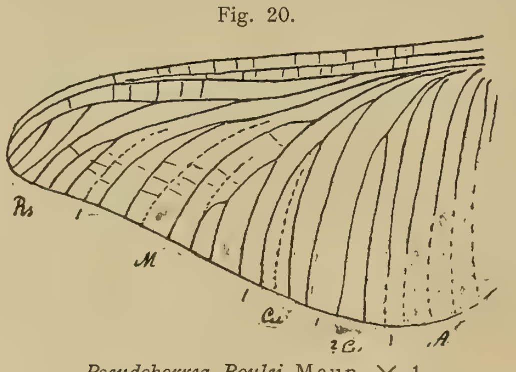
Genus Pseudoborrea n. g.

Pseudoborrea Boulei Meunier (Fig. 20) aus Commentry.

Borrea Boulei Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVI, 236, f. 4, 1910.
— — — Annal. Paleont., VII, 7, t. 7, f. 1, 1912.

Ein etwa 65 *mm* langer Flügel mit schmalem Costalfelde, also vermutlich ein Hinterflügel. Die Subcosta mündet wie bei *Borrea* in den Radius, der Sector bildet einen gegabelten und drei einfache

Fig. 20.



Pseudoborrea Boulei Meun. × 1.

Äste. Nach meiner Auffassung teilt sich die Medialis schon nahe der Basis in einen Vorderast, der eine große einfache Gabel bildet, und in einen Hinterast, welcher in vier Zweige zerfällt. Ob nur die

folgende in drei Zweige gespaltene Ader oder auch die nächste ähnliche zum Cubitus zählt, kann ich nicht entscheiden. Die letztere fällt wie die Analadern bereits senkrecht nach hinten ab. An vier Stellen sieht man zwischen den Längsadern etwas wie Falten oder Schaltadern. Die Queradern sind nicht sehr dicht gedrängt. Jedenfalls ist kein zwingender Grund vorhanden, diese Form mit *Borrea Lachlani* generisch zu vereinigen.

Fam. **Anaxionidae** n. fam.

Ein von Meunier als *Archaeoptilus* gedeuteter Flügel von ganz eigenartiger gedrungener Form zwingt mich zur Errichtung einer neuen Familie. Der Flügel ist ungefähr halb so breit als lang mit gleichmäßig gebogenem Vorderrande. Spitzen- und Hinterrand zusammen bilden einen fast regelmäßigen Kreisabschnitt. Die wenigen Äste des Sector radii ziehen schief gegen diesen Rand, die folgenden Adern in starker Krümmung. Medialis und Cubitus bilden je einen einfachen Vorderast und einen dreiteiligen Hinterast. Hinter dem Cubitus sehe ich noch eine gegabelte Ader, die vermutlich nicht mehr dem Cubitus, sondern der Analgruppe angehört. Dahinter liegen noch etwa vier stark gebogene Analadern. Das Zwischengeäder besteht aus dicht gedrängten parallelen Queradern, die stellenweise durch Brücken oder Anastomosen mit einander verbunden sind.

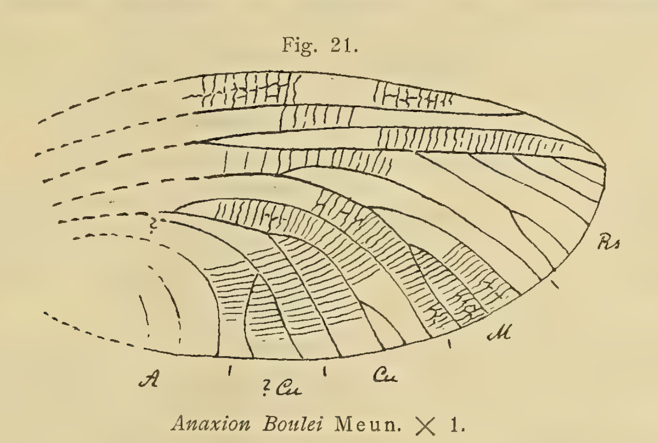
Genus Anaxion n. g.

Anaxion Boulei Meunier (Fig. 21) aus Commentry.

Archaeoptilus Boulei Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 153, 1908.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 34, f. 1, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 131, t. 1, f. 1, 1909.

Erhalten ist ein etwa 60 *mm* langes Stück. Meunier schätzt darnach die Länge des ganzen Flügels auf 90 *mm*, doch dürfte sie nach meiner Ansicht kaum viel mehr als 70 betragen haben. Es ist offenbar — nach dem breiten Costalfelde zu schließen — ein Vorderflügel.

Fig. 21.



Anaxion Boulei Meun. × 1.

Wenn es sich bei den Breyeriiden um Hinterflügel handelt, so wäre es nicht undenkbar, daß zwischen den beiden Formengruppen eine Beziehung besteht.

Fam. **Fouqueidae** Handl.

Zu den beiden bisher in dieser Familie untergebrachten Formen:

Genus Fouquea Brongn.

mit **Fouquea Lacroixi** Brongn. und ? **Sauvagei** Brongn.

dürfte sich als dritte ein von Meunier beschriebenes Fossil aus Commentry gesellen:

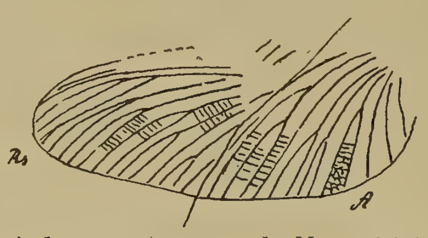
? Genus Archaecompsoneura Meunier.

Archaecompsoneura superba Meunier (Fig. 22).

Archaecompsoneura superba Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXIII, 139. 1909.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XV, 41, f. 1, 1909.
— — — Annal. Paleont., IV, 137, t. 1, f. 8, 1909.

Soviel ich aus dem Photogramm entnehmen kann, dürfte es sich entweder um zwei übereinanderliegende Flügel handeln, von deren einem nur die Apikal-, vom anderen nur die Basalhälfte zu sehen ist, oder um einen Flügel, der vielleicht durch einen Verbruch im Steine stark verzerrt ist. Es läßt sich infolgedessen keines der Hauptadersysteme vollkommen rekonstruieren und mein Urteil über die vermutliche Verwandtschaft beruht einerseits auf der reichen Verzweigung der Längsadern, andrerseits

Fig. 22.



Archaecompsoneura superba Meun. × 1.

auf dem dichten Zwischengeäder, welches teilweise noch aus feinem Netzwerk besteht, teilweise freilich schon zu Queradern geordnet erscheint.

Meunier's rekonstruierte Abbildung ist wohl scheinbar sehr klar, beruht aber sicher auf einer ganz willkürlichen Kombination, die keinerlei Anspruch auf Gültigkeit erheben kann und mir in mancher Beziehung den Eindruck des Unwahrscheinlichen, um nicht zu sagen Unmöglichen macht.

Fam. Graphiptilidae Handl.

Bleibt nach wie vor provisorisch und umfaßt die drei von Brongniart beschriebenen Formen aus Commentry:

Graphiptilus Heeri Brongn.

Apopappus Guernei Brongn.

Spiloptilus Ramondi Brongn.

Fam. Spilapteridae Handl.

In diese ausschließlich aus Commentry bekannte, offenbar recht formenreiche Gruppe rechne ich:

Palaeoptilus Brullei Brongn.

Spilaptera Packardi Brongn. **libelluloides** Brongn. u. ? **venusta** Brongn.

Epitethe Meunieri Brongn.

Compsoneura fusca Brongn. und ? **formosa** Brongn.

Becquerelia superba Brongn., **tincta** Brongn. und **Grehanti** Brongn.

Homaloneurina Bonnieri Brongn.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 135, f. 63.

Homaloneurites Joannae Brongn.

Homaloneura elegans Brongn., **Bucklandi** Brongn., **punctata** Brongn. und **ornata** Brongn.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent. III, 136, f. 64.

Es wäre behufs definitiver systematischer Gliederung dieser Gruppe sehr zu wünschen, wenn die Originale einer neuen fachmännischen Untersuchung zugänglich gemacht würden, um die vielen in Bezug auf die Deutung einzelner Aderkomplexe noch bestehenden Zweifel beheben zu können.

»**Zeilleria carbonaria**« Brongn. ist ein nomen nudum und fällt jedenfalls unter *Compsoneura*, welche Brongniart früher als *Zeilleria* bezeichnete, später aber umtaufte.

Becquerelia elegans Brongn. stelle ich lieber zu den Palaeodictyopteren zweifelhafter Stellung.

Fam. **Lamproptilidae** Handl.

Für diese Gruppe scheint mir die in die Breite gehende Flügelform charakteristisch zu sein. Das Geäder lehnt sich ziemlich eng an jenes der Spilapteriden.

Genus **Lamproptilia** Brongn.

Grand'Euryi Brongn. und **Stirrupi** Brongn. aus Commentry.

Als »*nomina nuda*« fallen hieher vermutlich die von Brongniart in der vorläufigen Publikation erwähnten »**Lamproptilia elegans**« und »**Lamproptilia priscotincta**«, die im Hauptwerke nicht mehr auftreten.

Endlich möchte ich hier noch provisorisch einreihen:

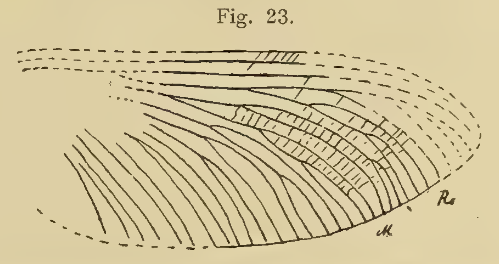
Genus **Boltoniella** n. g.

Boltoniella tenuitegminata Bolton (Fig. 23).

Lamproptilia tenuitegminata Bolton, Qu. Journ. Geol. Soc., LXVII, 170, t. 10, f. 6, 1911.

Dieses aus dem mittleren Obercarbon von Glamorganshire in S. Wales stammende Fossil erinnert tatsächlich in vielen Punkten an *Lamproptilia*, ist aber infolge des fehlenden Basalteiles nicht sicher

Fig. 23.



Boltoniella tenuitegminata Bolt. (Etwa × 2).

zu rekonstruieren und zu deuten. Schon die geringe Größe von etwa 32 *mm* und die viel dichter gestellten Queradern und stärker gebogenen Längsadern begründen eine Abtrennung von *Lamproptilia*.

Fam. **Polycreagridae** Handl.

Leitet sich nach dem noch recht ursprünglichen Bau der Medialis und des Cubitus unmittelbar von Dictyoneuriden oder verwandten Formen ab. Die Spezialisierung bewegt sich in anderer Richtung als bei den Lamproptiliden, Spilapteriden etc. und äußert sich auffallend in der Streckung und Vermehrung der Längsaderäste.

Polycreagra elegans Handl. aus dem Pennsylvanian von Rhode Island.

Fam. **Eubleptidae** Handl.

Im Gegensatz zu dem vorhergehenden, handelt es sich hier um einen vereinfachten, reduzierten Typus, der sicher aus ursprünglichen Formen durch Verminderung der Aderzahl hervorgegangen ist. Für diese Reduktion spricht auch die für ein *Palaeodictyopteron* geradezu zwerghafte Größe.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Intern. Ent. Brux., t. 6, f. 2, 1911 und Handb. d. Ent., III, 137, f. 67.

Eubleptus Danielsi Handl. vom Mazon Creek in Illinois.

Fam. **Doteridae** Handl.

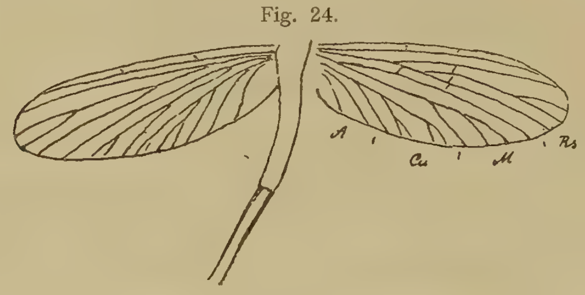
Das einzige bisher aus der Permformation nachgewiesene *Palaeodictyopteron*. Erinnert durch das reduzierte Geäder und die geringe Größe an *Eubleptus*, unterscheidet sich aber durch die weit höher spezialisierte Cubital- und Analgruppe. Der Sector radii entspringt ziemlich nahe der Basis und bildet nur zwei schräg gestellte Äste. Die Medialis gabelt sich sehr nahe der Basis; ihr Vorderast bleibt in der ursprünglichen Weise unverzweigt, während der Hinterast in drei Zweige zerfällt. Der Cubitus entbehrt des einfachen Vorderastes und sendet nur aus einem gemeinsamen Hauptstamme drei oder vier kurze Äste schief zum Hinterrande. Die Zahl der Analadern beträgt höchstens zwei. Queradern spärlich. Der im Vergleiche zur Flügelgröße zarte Körper trägt lange Cerci.

Genus Doter Sellards.

Doter minor Sellards (Fig. 24). Aus dem Perm von Kansas.

Doter minor Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 355, f. 13, 1907.

Fig. 24.



Doter minor Sellards × 5.

Der Autor meint, dieses kleine Tier dürfte zu den Protephemeriden gehören, erwähnt aber kein einziges Merkmal, welches für diese Ansicht sprechen würde. Die beiden Hinterflügel und das Abdomen sind erhalten. Erstere sind kaum mehr als 7 *mm* lang.

Die nun folgenden Familien erweisen sich in ein oder der anderen Richtung eigenartig spezialisiert und vom Grundtypus der Palaeodictyopteren abweichend. Wenn ich sie trotzdem vorläufig in der Stammordnung belasse, so geschieht es deshalb, weil ich sonst für jede dieser Familien eine eigene Ordnung errichten müßte, ohne angeben zu können, ob sie auch in Bezug auf das andere Flügelpaar, auf die Stellung der Flügel und den Körper vom Grundtypus abweichen.

Fam. **Metropatoridae** Handl.

Eines der ältesten Fossilien, welches als Insekt zu erkennen ist:

Metropator pusillus Handl. aus dem Unteren Obercarbon von Nordamerika.

Gehört schon zu den Formen, bei denen Reduktionserscheinungen zu beobachten sind. Hier dokumentieren sie sich hauptsächlich in der Cubitalader, die im Vergleiche zu Radius und Medialis sehr schwach entwickelt ist.

Fam. **Paoliidae** Handl.

Hieher rechne ich **Paolia vetusta** Smith, einen großen Flügel aus dem unteren Obercarbon Nordamerikas, bei dem das Zwischengeäder noch dictyoneuridenartig ist. Der Radius zeigt die typische Verzweigung, die Medialis bildet einen schwächer verzweigten vorderen und einen reicher verzweigten hinteren Ast. Der Vorderast des Cubitus ist eigenartig geschwungen und löst sich in ein feines Netzwerk kleiner Zweige auf. Auch die Analis ist reichlich verzweigt, aber in der typischen Weise bogenförmig zum Hinterrande gekrümmt.

Genus Paoliola n. g.

mit **Paoliola Gurleyi** Scudder aus dem Unt. Obercarbon Nordamerikas.

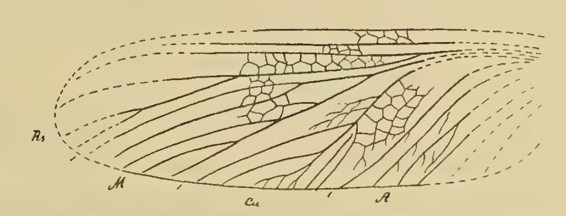
Paolia Gurleyi Scudder, Proc. Amer. Acad., XX, 173, 1885.
— — Melander, Journ. Geol., XI, 185, t. 7, f. 7, 1903.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 115, t. 12, f. 15, 1906.

Im Gegensatze zu *vetusta,* deren Flügel 90 *mm* lang ist, mißt diese Art nur etwa 36 *mm.* Der Sector radii ist entschieden hier reicher verzweigt als dort, die Medialis dafür schwächer. Bei dem gleichfalls geschwungenen Cubitus scheint keine so feine Verästelung eingetreten zu sein.

Genus Pseudofouquea Handl. (Fig. 25).

Pseudofouquea cambrensis Allen aus dem unteren Obercarbon Englands, scheint wohl am besten hier untergebracht zu sein. Auch hier ist der Cubitus so eigenartig geschwungen und zum Teil in kleine Ästchen gespalten, die Medialis in zwei verzweigte Äste geteilt und die Gruppe der Analadern steil abwärts gerichtet. Das Zwischengeäder ist netzartig, aber nicht so engmaschig wie bei *Paolia vetusta.* Die Länge des ganzen Flügels dürfte etwa 40 *mm* betragen haben.

Fig. 25.



Pseudofouquea cambrensis Allen. Etwa × 1·5.

Beistehende Figur habe ich in London an der Hand des im Museum for practic Geology befindlichen Originales revidiert und ergänzt.

Es ist gut möglich, daß diese Formen den Ausgangspunkt für die Reihe der Protorthopteren bilden, womit ihr hohes Alter im Einklange stünde, denn schon im mittleren Obercarbon finden sich relativ hoch entwickelte Vertreter dieser zu den Saltatorien hinüberleitenden Reihe.

Fam. Stygnidae Handl.

mit **Stygne Roemeri** Handl. aus dem unteren Obercarbon von Schlesien.

Kann eventuell einer Formengruppe angehören, aus welcher sich Protoblattoiden herausgebildet haben.

Fam. Aenigmatodidae Handl.

Mit **Aenigmatodes Danielsi** Handl. vom Mazon Creek in Illinois.

Dürfte ein spezialisiertes Seitenglied sein, welches blind endet.

Palaeodictyoptera incertae sedis.

Die folgenden Palaeodictyopterenformen erscheinen mir nicht hinlänglich gut erhalten, um in Familien eingereiht zu werden. Nachdem ich sie natürlich mit keiner der oben erwähnten Gattungen identifizieren kann, bleibt nichts übrig, als für jedes Fossil einen eigenen Genusnamen zu errichten. Vielfach wird es sich selbstverständlich hier um provisorische Namen handeln.

Archaeoptilus Scudder mit **ingens** Scudder aus Derbyshire in England (mittl. Obercarbon).

Das Original im Brit. Mus. stimmt mit der Abbildung t. 12, f. 18 (in Foss. Ins.) überein.

Archaeoptilites n. g. mit **Lucasi** Brongn. aus Commentry.

Trotz der Ähnlichkeit des Zwischengeäders möchte ich es lieber unterlassen, dieses Fossil mit *ingens* Sc. generisch zu vereinigen.

Paramegaptilus Handl. mit **Scudderi** Brongn. aus Commentry.

Jedenfalls eine ziemlich ursprüngliche Form mit ungeteiltem Vorderast der Medialis und des Cubitus.

Breyeriodes Handl. mit **Kliveri** Handl. aus Saarbrücken.

Gehört vielleicht zu den Dictyoneuriden oder Breyeriiden.

Campteroneura Handl. mit **reticulata** Handl. aus dem unteren Obercarbon von Nordamerika.

Ist jedenfalls eine ursprüngliche Form von bedeutenden Dimensionen.

Pseudobecquerelia n. gen. mit **elegans** Brongn. aus Commentry.

Becquerelia elegans Brongniart, Faune ent. terr. prim. 481, t. 36, f. 2, 1893.
?*Becquerelia elegans* Handlirsch, Foss. Ins., 109, t. 12, f. 7, 1906.

Ich zweifle nicht daran, daß es sich in diesem Fragment um keine *Becquerelia* handelt und vermutlich überhaupt um keine *Spilapteride.*

Orthogonophora Handl. mit **distincta** Handl. aus Nordamerika.

Bathytaptus Handl. mit **falcipennis** Handl. aus dem unteren Obercarbon Nordamerikas.

Palaiotaptus Handl. mit **mazonus** Handl. vom Mazon Creek.

Leipsanon Handl. mit **reticulatum** Handl. aus dem Westphalien von Belgien.

Amousus Handl. mit **mazonus** Handl. vom Mazon Creek.

Amousus mazonus Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 301, f. 4, 1911.

Diexodus Handl. mit **debilis** Handl. vom Mazon Creek.

Diexodus debilis Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 302, f. 5, 1911.

Scepasma Handl. mit **gigas** Handl. vom Mazon Creek.

Scepasma gigas Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 302, f. 6, 1911.

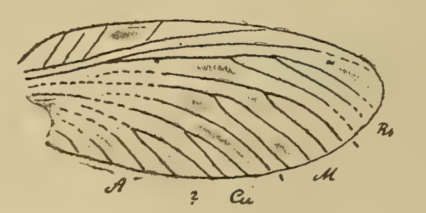
Ametretus Handl. mit **laevis** Handl. vom Mazon Creek.

Ametretus laevis Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 303, f. 7, 1911.

Mecynostoma Brongn. mit **Dohrni** Brongn. aus Commentry (Fig. 26, 27).

Brongniart hat hier sicher einige verschiedene Arten vor sich gehabt, die ich nun mit eigenen Namen belegen will. Als Typus von *Dohrni* Brongn. wähle ich das von ihm als Fig. 8 dargestellte

Fig. 26.



Mecynostoma Dohrni Brongn. Vorderflügel × 1.

Fig. 27.



Mecynostoma Dohrni Hinterflügel × 1.

Fossil, dessen Vorder- und Hinterflügel ich hier in Fig. 26. und 27 abbilde. Es handelt sich sicher um ein *Palaeodictyopteron,* doch bin ich nicht imstande, es in eine der Familien einzureihen.

Mecynostomites n. g. **Brongniarti** n. sp. aus Commentry (Fig. 28).

Mecynostoma Dohrni Brongniart, Faune ent. terr. prim. 574, t. 53, f. 11, 12, 1893.

Unterscheidet sich von der typischen *Mecynostoma Dohrni* durch andere Flügelform und reichere Verzweigung der Adern.

Paramecynostoma n. gen. **Dohrnianum** n. sp. aus Commentry (Fig. 29).

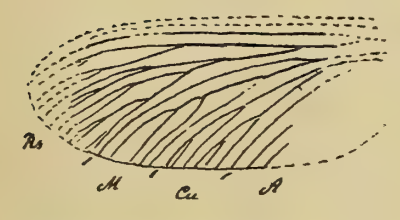
Mecynostoma Dohrni Brongniart, Faune ent. terr. prim. 574, t. 53, f. 9, 1893.

Die eigenartige Verzweigung der Medialis und des Sector nebst den schütteren Queradern sprechen für eine höher spezialisierte Form.

?Pseudomecynostoma n. gen. **dubium** n. sp. aus Commentry (Fig. 30).

Mecynostoma Dohrni Brongniart, Faune ent. terr. prim. 574, t. 53, f. 10, 1893.

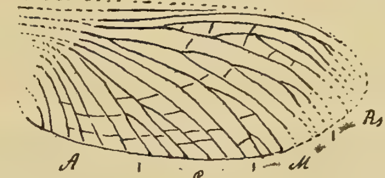
Fig. 28.



Mecynostomites Brongniarti n. sp. × 1.

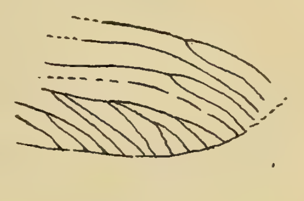
Fig. 29.





Paramecynostoma Dohrnianum n. sp. × 1.

Fig. 30.



Pseudomecynostoma dubium n. sp. × 1

Ich bin nicht ganz sicher, daß auch dieses Fragment einem *Palaeodictyopteron* angehört.

Pseudopaolia Handl. mit **Lacoana** Scudder aus Nordamerika.

Parapaolia Handl. mit **superba** Scudder aus Nordamerika.

Pseudohomothetus Handl. mit **erutus** Mattlew aus Nordamerika.

Xenoneura Scudder mit **antiquorum** Scudder aus Nordamerika.

Dyscritus Scudder mit **vetustus** Scudder aus Nordamerika.

Lithentomum Scudder mit **Harttii** Scudder aus Nordamerika.

Titanophasma Brongn. mit **Fayoli** Brongn. aus Commentry.

Pseudopalingenia Handl. mit **Feistmanteli** Fritsch aus Böhmen.

Aedoeophasma Scudder mit **anglica** Scudder aus England.

Sherborniella n. g. mit **Higginsi** Handl. aus England.

Neuropterous insect wing Higgins, Pres. Ads. Liverp. nat. Field Club., 19, t. f. 15, 1871.
(*Palaeodictyopteron*) *Higginsi* Handlirsch, Foss. Ins., 125, t. 13, f. 6, 1906.

Der Gleichheit halber soll auch dieses Fossil einen Genusnamen erhalten.
Vermutlich sind auch noch die folgenden Fossilien zu den Palaeodictyopteren zu rechnen:

?Parahaplophlebium Handl. mit **longipenne** Scudder aus Nordamerika.

?Titanoptera Brongn. mit **maculata** Brongn. aus Commentry.

?Scudderina m. mit **furcifera** m. aus Sydney in Nordamerika.

»Wing of a Cockroach« Scudder, Mem. Bost. Soc., III, 128, t. 6, f. 11, 1879.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 333, t. 34, f. 22, 1907.

Ich benenne diese und die folgenden Formen nur der leichteren Manipulation wegen.

? **Scudderiana** m. mit **diffusa** m. aus Pittston in Nordamerika.

»Insect Wing« Scudder, Mem. Bost. Soc., III, 350, t. 32, f. 2, 1883.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 340, t. 34, f. 29, 1907.

Dieses Fossil gehört, falls es überhaupt von einem Insekte stammt, sicher zu den Palaeodictyopteren.

? **Brongniartula** m. mit **rastrata** m. aus Commentry.

»Fragment indeterminable«, Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 40, f. 13, 1893.
»Fragment eines Flügels« Handlirsch, Foss. Ins., 331, t. 34, f. 17, 1907.

? **Brongniartites** m. mit **radians** m. aus Commentry.

»Fragment indeterminable«, Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 40, f. 14, 1893.
»Fragment eines Flügels«, Handlirsch, Foss. Ins., 331, t. 34, f. 18, 1907.

? **Commentrya** m. mit **reticulata** m. aus Commentry.

»Fragment indeterminable«, Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 40, f. 12, 1893.
»Fragment eines Flügels«, Handlirsch, Foss. Ins., 331, t. 34, f. 19, 1907.

Von Larvenformen ist nichts weiter bekannt als die in Foss. Ins. aufgeführten Arten:

(Palaeodictyopteron) Hageni Goldenb. aus dem Saarbrücker Gebiet.

Von Schlechtendal 1913, t. 1, f. 7 und t. 8, f. 1 wieder abgebildet. Die letztere Figur weicht stark von meiner schematischen Abbildung ab, so daß nur eine neuerliche Untersuchung des Originales entscheiden kann, wer recht hat.

(Palaeodictyopteron) anglicanum Handl. aus England.

(Palaeodictyopteron) mazonum Handl., **latipenne** Handl., **virginianum** Handl. aus Nordamerika.

Ordo Mixotermitoidea Handl.

Zu den beiden in meinem Handbuche als Mixotermitoiden bezeichneten Typen füge ich noch zwei weitere, die jedoch über die verwandtschaftlichen Beziehungen der Ordnung noch keinen Aufschluß geben. Bei allen Formen ist Ursprüngliches mit Abgeleitetem vermengt; man findet den Anschluß an Palaeodictyopteren, kann aber nach oben keine Brücke zu irgend einer anderen Formenreihe erkennen. Alle Formen stammen aus dem mittleren Obercarbon.

Fam. Mixotermitidae Handl.

Subcosta stark verkürzt. Sector radii nahe der Basis entspringend, mit 2 bis 3 Ästen, von denen ein oder der andere eine Gabel bildet. Medialis mit langem an ursprüngliche Palaeodictyopteren erinnernden Vorderast, der eventuell eine kurze Endgabel bildet, und mit schwach verzweigtem Hinterast. Der Cubitus sendet zwei oder drei Äste schief nach hinten; etwa drei einfache oder gegabelte schräg zum Hinterrande ziehende Analadern. Queradern ziemlich weit von einander, gerade und auffallend regelmäßig. Größte Breite des Flügels in der Endhälfte.

Genus **Mixotermes** Sterzel mit **lugauensis** Sterzel aus Sachsen.

Genus **Geroneura** Matthew mit **Wilsoni** Matthew aus New Brunswig.

Fam. **Kliveriidae** n. fam.

Flügel gegen die Basis noch stärker verschmälert als bei den Mixotermitiden. Subcosta verkürzt. Sector radii mit zwei einfachen und einem stärker verzweigten Aste. Vorderast der Medialis in eine lange Gabel gespalten, Hinterast dreiteilig. Cubitus eine lange einfache Gabel bildend. Zwei schiefe Analadern. Von Queradern nichts bekannt. Wäre dieser Flügel im Mesozoikum gefunden, so hätte ich ihn vielleicht zu den Panorpaten gestellt!

Genus **Kliveria** Handl. mit **incerta** Kliver aus dem Saargebiet.

Fam. **Climaconeuridae** n. fam.

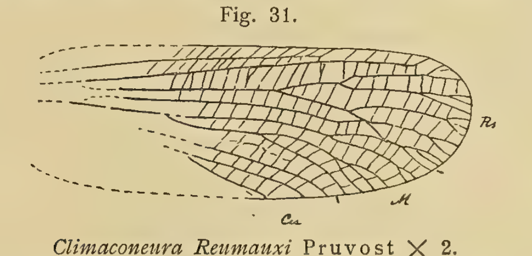
Der Flügel scheint in der Apikalhälfte nicht wesentlich breiter zu sein als in der Basalhälfte. Subcosta stark verkürzt, durch Knickung in die Costa mündend. Radius vor der Flügelspitze scharf zum Costalrand gewendet. Sector sehr nahe der Basis entspringend, durch doppelte Gabelung in vier Hauptäste gespalten, welche kurze Endästchen bilden. Dann folgt eine einfache Ader, die vermutlich dem Vorderaste der Medialis entspricht und sich anscheinend mit dem letzten Aste des Sector vereinigt, um gleich darauf zum nächstliegenden vorderen Aste der Medialis zu ziehen. Der Hinterast der Medialis ist ähnlich wie der Sector radii in zwei große Gabeln mit einigen Endästchen gespalten, die schon gegen den Hinterrand herabgebogen sind. Der Cubitus besaß vermutlich einen einfachen vorderen und einen gegabelten hinteren Ast. Queradern ähnlich wie bei den Mixotermitiden. Längsadern hie und da an den Insertionsstellen der Queradern geknickt.

Genus **Climaconeura** Pruvost.

Climaconeura Reumauxi Pruvost (Fig. 31). Aus der Mine de Lens in Nordfrankreich (Mittleres Obercarbon).

Climaconeura Reumauxi Pruvost, Ann. Soc. Geol. Nord., XLI, 327, t. 9, f. 1, 1912.

Fig. 31.



Climaconeura Reumauxi Pruvost × 2.

Ein bis auf den Basal- u. Analteil gut erhaltener Flügel von etwa 28 *mm* Länge.

? Ordo Reculoidea Handl.

Fam. **Reculidae** Handl.

Errichtet auf **Recula parva** Schlechtendal aus dem ob. Obercarbon von Wettin. Schlechtendal hat 1913 eine photographische Abbildung veröffentlicht (t. 4, f. 18), an der aber nicht viel zu sehen ist. Die Stellung bleibt nach wie vor zweifelhaft.

Ordo Hadentomoidea Handl.

Offenbar von Palaeodictyopteren abzuleiten und in einer Richtung spezialisiert, die an Embiden erinnert.

Fam. **Hadentomidae** Handl.

Mit **Hadentomum americanum** Handl. vom Mazon Creek in Illinois.

Nichts beizufügen als eine Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Int. Ent., t. 7, f. 19 und Handb. Ent., III 143, f. 73.

? Ordo Synarmogoidea nov. Ord.

Ich errichte diese provisorische Ordnung für ein von mir beschriebenes Fossil aus dem mittleren Obercarbon von Westphalen.

Synarmoge Ferrarii Handl.

Synarmoge Ferrarii Handlirsch, Verh. zool. bot. Ges. LX, 250. Fig., 1910.

Wie ich schon seinerzeit erwähnte, scheint diese Form in gewissem Sinne zwischen Protorthopteren und Palaeodictyopteren zu vermitteln. Weitere Funde mögen entscheiden, wo der definitive Platz für dieses interessante Fossil sein wird.

Ordo Protorthoptera Handl.

Der Umfang dieser Ordnung hat sich seit meinem Handbuche ganz beträchtlich erweitert. Teils wurden neue Formen beschrieben, teils komme ich in die Lage, einige der zweifelhaften Typen nun doch als Protorthopteren zu erkennen. Die Scheidung von Protoblattoiden fällt bei mangelhaft erhaltenen Formen recht schwer. Die Gruppe beginnt im mittleren Obercarbon und ist noch im Perm ziemlich reich vertreten.

Fam. **Spanioderidae** Handl.

Genus Spaniodera Handl.

Die Subcosta des Vorderflügels scheint immer in den Radius zu münden. Einer oder auch beide Äste des Sector radii gegabelt. Medialis in zwei einfache oder gegabelte Äste geteilt. Der Cubitus entsendet drei bis sechs einfache oder gegabelte Äste.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 147, f. 79.

Zu der typischen Art *ambulans* Handl. vom Mazon Creek kamen weitere sieben Arten von gleichem Fundorte: *longicollis* Handl., *lata* Handl., *elatior* Handl., *Schucherti* Handl., *acutipennis* Handl., *parvula* Handl. und *angusta* Handl., sämtlich beschrieben im Amerikan. Journal of Sc., XXXI, 1911.

Vielleicht werden folgende amerikanische Genera auch mit *Spaniodera* zusammenfallen:

Propteticus Lacoe mit **infernus** Lacoe.

Camptophlebia Handl. mit **clarinervis** Meland.

Paracheliphlebia Handl. mit **extensa** Meland.

Petromartus Meland. mit **indistinctus** Meland.

Miamia Dana mit **Bronsoni** Dana.

Dieconeurites Handl. mit **rigidus** Scudder.

Zu den Spanioderiden rechne ich außerdem:

Gyrophlebia Handl. mit **longicollis** Handl.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 147, f. 80.

? Metacheliphlebia Handl. mit **elongata** Scudd.

Dieconeura Scudd. mit **arcuata** Scudd. und **mazona** Handl. (Amerikan. Journal of Sc., XXXI, 310, f. 15, 1911.)

Die Beschreibung dieses Genus ergänzt sich dahin, daß der Sector in zwei bis drei einfache oder gegabelte Äste zerfällt und der Cubitus vier bis sechs Äste bildet.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Intern. Ent. Brux., t. 6, f. 3, 1911.

Metryia Handl. mit **analis** Handl.

Die Familie umfaßt also bereits 19 Arten, durchwegs aus Amerika.

? Fam. **Palaeocixiidae** n. fam.

Die beiden hier untergebrachten Formen lehnen sich eng an die Spanioderiden an, so daß die Aufstellung einer eigenen Familie sich vielleicht später als überflüssig erweisen wird.

Als charakteristisch möchte ich außer der nach der Basis zu stark verschmälerten (Vorder-) Flügelform die schwache Verzweigung der Längsadern betrachten. Die Medialis gabelt sich etwa in gleicher Höhe mit dem Radius in zwei verzweigte Hauptäste. Der Cubitus ist stark geschwungen, das Analfeld schmal und gestreckt mit nur drei Adern. Prothorax langgestreckt. Zwei Arten aus Commentry.

Genus **Palaeocixius** Brongn.

Palaeocixius Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3), XXI, 67, 1885, pp.
Fabrecia Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 123, 1911, pp.

Palaeocixius antiquus Brongn. (Fig. 32).

Palaeocixius antiquus Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3), XXI, 67, 1885.
— Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 53, f. 4, 1893.
— *antiquus* Handlirsch, Foss. Ins., 326, t. 34, f. 4, 1907.
Fabrecia pygmaea Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 123, f. 6, 1911.
— — — Annal. Paleot., VII, 12, t. 8, f. 1, 1912.

Meunier zitiert Brongniart's Abbildung und weiß, daß er die Type zu Brongniart's *Palaeocixius antiquus* vor sich hat. Trotzdem das Fossil schon einen ganz einwandfreien nomenklatorisch gültigen Namen hat, benennt er es doch ganz überflüssigerweise neu.

Der erhaltene Vorderflügel mißt etwa 19 *mm*. Die verkürzte Subcosta mündet in den Radius. Sector in nur zwei Äste geteilt. Vorderast der Medialis in zwei, Hinterast in drei Zweige gespalten. Cubitus S-förmig geschwungen, vier Äste schief nach hinten aussendend. Erste und zweite Analis parallel und genähert, dritte kurz, weiter nach hinten gerückt. Schmälere Zwischenräume mit einfachen, breitere mit netzartig verschlungenen Queradern. Prothorax schlank, halsartig.

Genus **Fabrecia** Meunier.

? *Palaeocixius* Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3) XXI, 67, 1885 pp.
Fabrecia Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 123, 1911 pp.

Als Typus der Gattung betrachte ich:

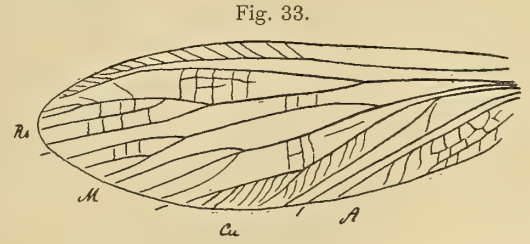
Fabrecia minuta Meunier (Fig. 33).

? *Palaeocixius Fayoli* Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3) XXI, 67, 1885.
Fabrecia minuta Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 124, f. 7, 1911.
— — — Annal. Paleont, VII, 13, t. 7, f. 3, 1912.

Fig. 32.

Palaeocixius antiquus Brongn. × 3.

Fig. 33.



Fabrecia minuta Meunier. × 3·5.

Ein etwa 18 *mm* langer Vorderflügel. Die verkürzte Subcosta mündet in den Vorderrand. Sector radii mit drei Ästen. Vorder- und Hinterast der Medialis in je drei Zweige gespalten. Cubitus

geschwungen mit nur zwei deutlichen Hauptästen und einer Anzahl feiner Supplementärästchen. Analfeld ähnlich wie bei *Palaeocixius*.

Durch generische Trennung dieser beiden Formen, zu der ich mich berechtigt halte, ist es möglich, den Meunier'schen Namen *Fabrecia* zu erhalten.

Ob *minuta* und *Fayoli* dasselbe Objekt bezeichnen, kann ich nicht feststellen.

Fam. **Geraridae** Handl.

Seit dem Erscheinen der Foss. Ins. konnte ich feststellen, daß bei den hier vereinigten Formen, welche durchwegs aus Nordamerika stammen, der Prothorax stark verlängert ist. Dadurch treten sie in nähere Beziehung zu den Spanioderiden. Andrerseits finden sich im Geäder, wie es scheint, auch Anklänge an die Oedischiiden.

Genus: Gerarus Scudder.

Zu den in den Foss. Ins. aufgeführten Arten: **vetus** Scudder, **longus** Handl., **Danielsi** Handl. (Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent. 152, f. 92), **angustus** Handl. und ?**mazonus** Scudder kommen folgende vom Mazon Creek:

Gerarus latus Handl.

Gerarus latus Handlirsch, Amer. Journ. Sc. XXXI, 313, f. 17, 1911.

Gerarus longicollis Handl.

Gerarus longicolis Handlirsch, Amer. Journ. Sc. XXXI, 315, f. 21, 1911.
Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Int. Ent., t. 6, f. 4, 1911 und Handb. Ent. III, 153, f. 93.

Gerarus reductus Handl.

Gerarus reductus Handlirsch, Amer. Journ. Sc. XXXI, 314, f. 19, 20, 1911.

Gerarus collaris Handl.

Gerarus collaris Handlirsch, Amer. Journ. Sc. XXXI, 314, f. 18, 1911.

Genus: Genopteryx Scudder mit **constricta** Scudder.

Genus: Gerarulus Handl.

Gerarulus radialis Handl.

Gerarulus radialis Handlirsch, Amer. Journ. Sc. XXXI, 316, f. 22, 1911.

Vermutlich gehört auch in diese Familie:

Genus: Anepitedius Handl.

Anepitedius giraffa Handl.

Anepitedius giraffa Handlirsch, Amer. Journ. Sc. XXXI, 318, f. 23 bis 25, 1911.

Fam. **Ischnoneuridae** Handl.

Diese Gruppe steht jedenfalls in ziemlich naher Beziehung zu den vorhergehenden, speziell zu den Spanioderiden. Als Typus zu betrachten:

Ischnoneura Brongn. mit **Oustaleti** Brongn. aus Commentry.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent. III, 148, f. 81.

Als zweite Ischnoneuridenform betrachte ich:

Genus: Ischnoneurula n. gen.

Ischnoneurula Trouessarti Meunier aus Commentry (Fig. 34).

Homalophlebia Trouessarti Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 127, f. 11, 1911.

— — — Ann. Paleont., VII, 16, t. 8, f. 4, 1912.

Ein schlankes Tierchen mit verschmälertem Prothorax und zarten Beinen. Die Länge des vollständig erhaltenen Vorderflügels beträgt nach dem Photogramm 40 *mm*. Die Subcosta scheint in die Costa zu münden. Sector radii mit 5 ziemlich kurzen Ästen. Medialis nur in 3 Zweige gespalten. Cubitus lang, geschwungen mit etwa 4 Ästen, von denen einer in 4, der nächste in 2 Zweige zerfällt. Analfeld mit 6 einfachen Adern.

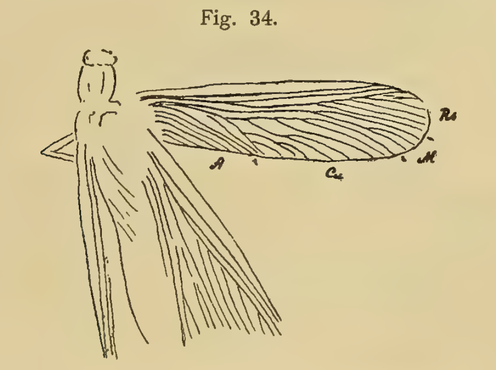
Mit *Homalophlebia* (Typus *Finoti* Brongn.) hat diese Form natürlich gar nichts gemein, das wird jeder sofort erkennen, der die beiden Bilder vergleicht.

Fam. Prototettigidae Handl.

Mit **Prototettix lithanthraca** Goldenb. (Fig. 35).

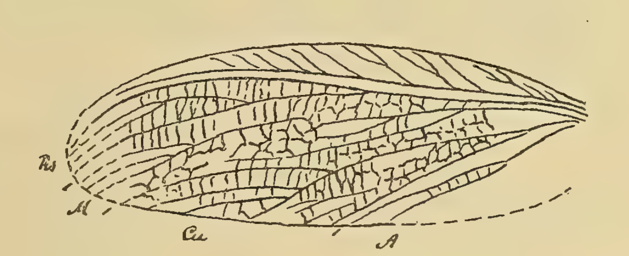
Dieses etwas unklare Fossil stammt nicht, wie ich seinerzeit glaubte, aus Frankenholz, sondern von der Rußhütte im Fischbachtal bei Saarbrücken. Schlechtendal bringt eine Abbildung des Gegen-

Fig. 34.



Ischnoneurula Trouessarti Meun. × 1.

Fig. 35.



Prototettix lithanthraca Gold. × 1.

druckes (1913, 96, t. 1, f. 11, t. 10, f. 3), die etwas mehr Klarheit in das Geäder bringt als die in meinen Foss. Ins. enthaltene.

Fam. Apithanidae Handl.

Schließt sich durch den verlängerten Prothorax und die relativ geringe Verzweigung der Längsadern an die Spanioderiden, weicht aber von ihnen durch die Bildung des Cubitus bedeutend ab.

Genus: Apithanus Handl.

Apithanus jocularis Handl. Vom Mazon Creek in Illinois.

Apithanus jocularis Handlirsch, Amer. Journ. Sc. XXXI, 320, f. 26, 27, 1911.

Fam. Lepiidae Sellards.

Diese Familie dürfte sich am besten an die Palaeocixiiden, beziehungsweise Spanioderiden reihen, mit denen sie in dem eigenartig geschwungenen Cubitus übereinstimmt. Auch die geringe Verzweigung

von Sector und Medialis und das gefaltete kleine Analfeld der Hinterflügel deuten in diese Richtung. Auffallend erscheint mir das durchaus netzartige Zwischengeäder. Alle Formen stammen aus dem unteren Perm von Kansas und Deutschland und müssen erst genauer abgebildet und beschrieben werden. Es sind durchwegs kleine Tiere.

Genus: Lepium Sellards.

Lepium elongatum Sellards.

Lepium elongatum Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 156, f. 8, 1909.

Lepium reticulatum Sellards.

Lepium reticulatum Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 156, 1909.

? **Lepium Sellardsi** m.

Lepium sp. Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 156 (hind wing), 1909.

? Genus: Atava Sellards.

Atava ovata Sellards.

Atava ovata Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 157, f. 3, 1909.

Ein Hinterflügel, der nicht mit voller Sicherheit in diese Familie einzureihen ist.

Hier möchte ich auch — mit Vorbehalt allerdings — eine Form unterbringen, die ich seinerzeit zu den Protoblattoiden gerechnet habe:

Genus: Permula m.

Permula lebachensis m. Aus dem Rotliegenden von Unterlebach in Deutschland.

Gen. — sp. — Schlechtendal i. l.
Gen. — sp. — Handlirsch, Foss. Ins., 348, t. 34, f. 36, 1907.

Fam. Liomopteridae Sellards.

Scheint den Lepiiden sehr nahe zu stehen. Das netzartige Zwischengeäder ist größtenteils durch einfache Queradern ersetzt. Der Prothorax soll verlängert sein. Aus dem unteren Perm von Kansas. Durchwegs kleine Formen. Revisionsbedürftig!

Genus: Liomopterum Sellards.

Liomopterum ornatum Sellards.

Liomopterum ornatum Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 158, f. 5, 6, 1909.

Liomopterum extensum Sellards.

Liomopterum extensum Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 158, 1909.

Genus: Horates Sellards.

Horates elongatus Sellards.

Horates elongatus Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 158, f. 2, 1909.

Fam. Probnisidae Sellards.

Durch den zu einer einfachen Ader reduzierten Sector radii und den langen geschwungenen Cubitus auffallend. Medialis auf wenige Äste reduziert oder nur eine einfache Gabel bildend. Läßt sich wohl auch vom Typus der Spanioderiden ableiten. Durchwegs kleine Tiere aus dem unteren Perm von Kansas.

Genus: Probnis Sellards.

Probnis speciosa Sellards.

Probnis speciosa Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 159, f. 10, 11, 1909.

Probnis coriacea Sellards.

Probnis coriacea Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 160, 1909.

? **Probnis Sellardsi** m.

Hind wing of Lemmatophoridae, Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 164, f. 18, 1909.

Gehört wohl, nach den einfachen Gabeln des Radius und der Medialis zu schließen, hieher.

Genus: Espira Sellards.

Espira obscura Sellards.

Espira obscura Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 160, f. 13, 1909.

Genus: Stoichus Sellards.

Stoichus elegans Sellards.

Stoichus elegans Sellards, Amer. Journ., Sc. XXVIII, 160, f. 12, 1909.

Stoichus arcuatus Sellards.

Stoichus arcuatus Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 161, f. 14, 1909.

Stoichus minor Sellards.

Stoichus minor Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 161, 1909.

Stoichus tenuis Sellards.

Stoichus tenuis Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 161, 1909.

Genus: Stinus Sellards.

Stinus brevicubitalis Sellards:

Stinus brevicubitalis, Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 161, f. 9, 1909.

Genus: Lecopterum Sellards.

Lecopterum delicosum Sellards.

Lecopterum delicosum Sellards, Amer. Journ. Sc. XXVII, 161, 1909.

Fam. Protokollariidae Handl.

Mit **Protokollaria ingens** Brongn. aus Commentry.

Fam. **Schuchertiellidae** Handl.

Diese Familie dürfte sich am besten hier einreihen lassen.

Genus Schuchertiella Handl.

Schuchertiella gracilis Handl. vom Mazon Creek.

Schuchertiella gracilis Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 311, f. 16, 1911.

Fam. **Pachytylopsidae** Handl.

Diese Gruppe steht villeicht in näherer Beziehung zu den Oedischiiden.
Ich rechne hieher nur mehr:

Pachytylopsis Borre mit **Persenairei** Borre aus Belgien.

Palorthopteron Handl. mit **melas** Handl. aus Belgien.

Symballophlebia Handl. mit **latipennis** Handl. aus Belgien.

Auf die in den Foss. Ins. angeführte vierte Form (*Thoronysis*) errichte ich eine eigene Familie.

Fam. **Thoronysididae** n. fam.

Der Vorderflügel ist viel schlanker als bei den Pachytylopsiden und die Hauptadergruppen Medialis Cubitus und Radius bleiben vollkommen von einander unabhängig, nehmen aber ungefähr gleichen Raum ein. Die Analgruppe ist dagegen sehr eingeengt.

Thoronysis Handl. mit **Ingbertensis** Ammon aus der unteren Saarbrücker Stufe von St. Ingbert in der Pfalz.

Fam. **Laspeyresiellidae** Schlechtend.

Laspeyresiidae Handlirsch, Foss. Ins., 140, 1907. (Nomen praeoccup.).
Laspeyresiellidae Schlechtendal, Nova Acta, XCVIII, 96, 1913.

Genus Laspeyresiella Schlechtend.

Laspeyresia Schlechtendal i. l.
— Handlirsch, Foss. Ins., 140, 1907.
Laspeyresiella Schlechtendal, Nova Acta, XCVIII, 96, 1913.

Laspeyresiella Wettinensis Schlechtend. Aus dem oberen Obercarbon von Wettin.

Laspeyresia Wettinensis Schlechtendal, i. l.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 140, 1907.
Laspeyresiella Wettinensis Schlechtendal, Nova Acta, XCVIII, 96, t. 4, f. 25, 1913.

Fam. **Caloneuridae** Handl.

Vorder- und Hinterflügel waren einander noch sehr ähnlich und ein Analfächer kaum angedeutet. Die Adern scheinen nicht bei allen Formen dunkel gesäumt zu sein. Ob die Fühler wirklich lang und locustidenähnlich waren, wird erst sicher zu sagen sein, bis die Originale zu Brongniart's Fig. 9 und 10 der Taf. 52 neuerlich untersucht und ihre Zugehörigkeit zur Gattung *Caloneura* außer Zweifel gestellt sein werden. Als charakteristisch für die Familie fasse ich den ursprünglich gestalteten Sector radii mit seinen einfachen Ästen, die einfach gegabelte Medialis und den vermutlich auf eine einfache oder höchstens gegabelte Ader reduzierten Cubitus nebst den zahlreichen regelmäßigen Queradern auf. Die Hinterbeine waren wohl etwas kräftiger aber jedenfalls noch keine Sprungbeine. Alle Formen aus Commentry.

Genus Caloneura Brongn.

Medialis eine relativ kurze Gabel bildend.

Caloneura Dawsoni Brongn. (Fig. 36).

Caloneura Dawsoni Brongniart, Fauna ent. terr. prim., 562, t. 52, f. 5, 6, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 141, f. 13, 1907.

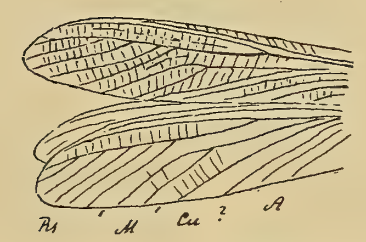
Als Typus der Art betrachte ich das von Brongn. als Fig. 5 und 6 abgebildete Exemplar. Von den beiden gut sichtbaren Flügeln entspricht der obere offenbar dem Vorderflügel. Er zeigt vier einfache Äste des Sectors, während der untere, offenbar dem zweiten Paare angehörende Flügel deren fünf besitzt und sich auch durch den etwas breiteren Analteil mit mehr gestreckten, etwas fächerartig verlaufenden Analadern unterscheidet.

Der Cubitus scheint in beiden Flügeln nur aus einer einfachen Ader zu bestehen.

Caloneura picta n. sp. (Fig. 37).

Caloneura Dawsoni Brongniart, Faune ent. terr. prim., 562, t. 52, f. 7, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 141, 1907 pp.

Fig. 36.



Caloneura Dawsoni Brongn. × 1. (Vorder- und Hinterflügel).

Fig. 37.



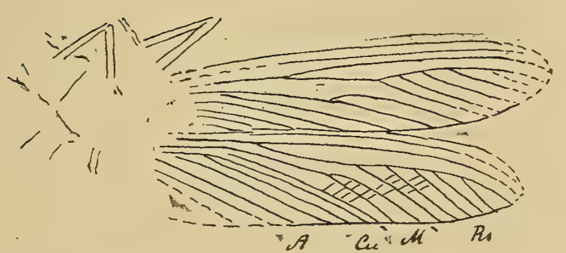
Caloneura picta n. sp. × 1.

Offenbar ein Hinterflügel. Sector radii mit zwei einfachen und einem gegabelten Ast.

Caloneura major n. sp. (Fig. 38, 39).

Caloneura Dawsoni Brogniart, Fauna ent. terr. prim., 562, t. 52, f. 8, 11, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 141, 1907 pp.

Fig. 38.





Caloneura major n. sp. × 1 (Vorder- und Hinterflügel).

Fig. 39.

Caloneura major n. sp. × 1.

Jedenfalls größer als die vorhergehenden Arten. Sector im Vorderflügel mit ? vier, im Hinterflügel mit fünf Ästen.

? Caloneura longicornis n. sp. (Fig. 40).

Caloneura Dawsoni Brongniart, Fauna ent. terr. prim., 562, t. 52, f. 9, 1893.
— — Handlirsch, Foss Ins., 141, 1907 pp.

Ich hielte es für gewagt, dieses Fossil ohne ? für *Caloneura Dawsoni* zu erklären. Möglicherweise kann es sich sogar um ein Tier aus einer ganz anderen Familie — etwa um eine *Stenaroceride* — handeln. Gleiches gilt für:

? **Caloneura robusta** n. sp. (Fig. 41).

Caloneura Dawsoni Brongniart, Fauna ent. terr. prim., 562, t. 52, f. 10, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 141, 1907 pp.

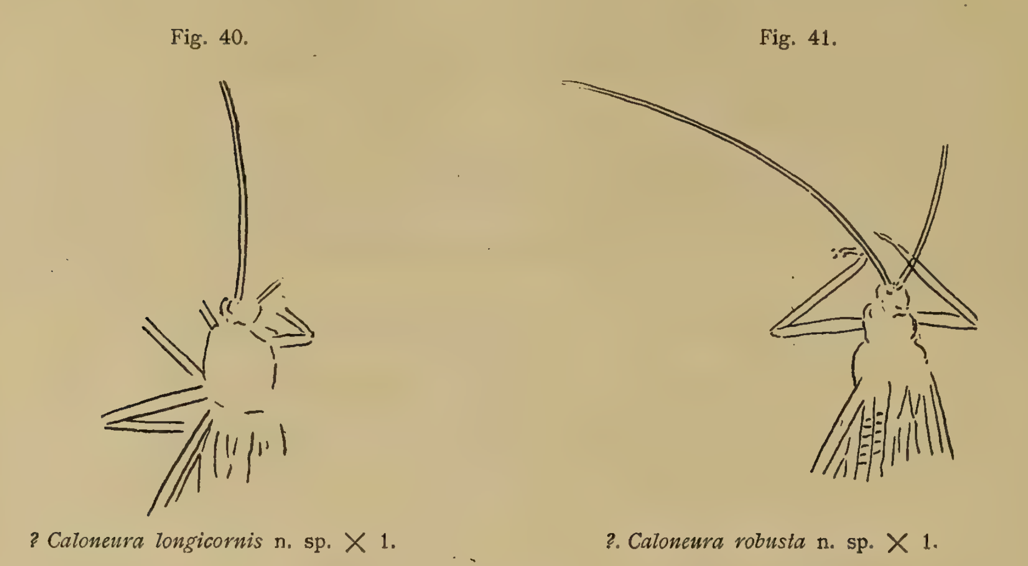


Fig. 40. *? Caloneura longicornis* n. sp. × 1.

Fig. 41. *?. Caloneura robusta* n. sp. × 1.

Genus **Homaloptila** n. gen.

Ein kleines Fossil aus Commentry, welches von Meunier zu *Homaloneura*, also zu den Palaeodictyopteren (!) gestellt wurde, zeigt in der Anlage des Geäders so weitgehende Ähnlichkeit mit *Caloneura*, daß ich an der Verwandtschaft nicht zweifeln kann.

Homaloptila similis Meunier (Fig. 42, 43).

Homaloneura similis Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 118, f. 1, 1911.
— — — Annal. Paleont., VII, 8, t. 6, f. 5, 1912.

Die Flügellänge beträgt etwa 28 *mm*. Beide Flügel sind erhalten, aber einander so ähnlich, daß man nur bei genauer Untersuchung die Unterschiede feststellen kann. Der Hinterflügel ist in der Basalhälfte etwas stärker verbreitert als der Vorderflügel und seine Analadern sind etwas mehr gestreckt, die drei Äste des Sector radii etwas kürzer, ebenso die einfache Gabel der Medialis. Dem Cubitus gehören



Fig. 42. *Homaloptila similis* Meun. × 1

Fig. 43. *Homaloptila similis* Meun. × 1·6 (Vorder- und Hinterflügel).

vermutlich die zwei hinter der Medialis folgenden Adern an, vielleicht aber nur die erste derselben. Im Vorderflügel erscheint Medialis 2, im Hinterflügel Cubitus 1 deutlicher ausgeprägt, was vermutlich mit der Anwesenheit einer Gelenkfalte zusammenhängt. Queradern zahlreich. Der Prothorax erscheint etwas breiter als lang und deutlich breiter als der kurze mit großen Fazettaugen versehene Kopf.

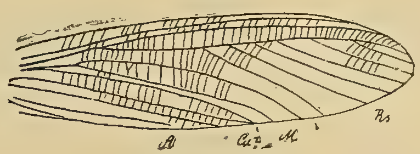
Genus Confusio n. g.

Auch dieser schöne Vorderflügel aus Commentry wurde von Meunier zu *Homaloneura*, also zu den Palaeodictyopteren gestellt. Wenn wir auch schon gewohnt sind, allen Angaben dieses Autors mit Zweifel entgegenzutreten, so muß uns doch ein derartiger Mißgriff einigermaßen überraschen. Wir sehen immer wieder, daß Herrn Meunier jeder Sinn für Ähnlichkeit oder gar Verwandtschaft mangelt und daß er einfach darauf los beschreibt und benennt, nicht in der Absicht, die Wissenschaft zu fördern, sondern nur um möglichst pompöse phrasenreiche Werke zu liefern, denen der Schein einer Wissenschaftlichkeit anhaftet.

Confusio Royeri Meunier (Fig. 44).

Homaloneura Royeri Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 119, f. 2, 1911.
— — — Annal. Paleont., VII, 9, t. 7, f. 2, 1912.

Fig. 44.



Confusio Royeri Meun. × 1·3.

Vorderflügel 40 *mm* lang. Sector mit sechs einfachen Ästen. Medialis eine sehr lange Gabel bildend. Eine knapp dahinter liegende Ader betrachte ich als Cubitus. Möglicherweise gehört auch noch die nächstfolgende Ader dazu, so daß das Analfeld sehr reduziert und schmal erschiene. Queradern sehr reichlich entwickelt.

? Fam. Homalophlebiidae Handl.

Durch die Verkürzung der Subcosta und Einengung des Sector radii zu den Oedischiiden hinneigend, mit denen die Gruppe vielleicht einmal zu vereinigen sein wird.

Hieher rechne ich nach wie vor nur:

Genus Homalophlebia Brongn. mit **Finoti** Brongn.

Genus Parahomalophlebia Handl. mit **Courtini** Brongn., beide aus Commentry.

? Fam. Anhomalophlebiidae n. fam.

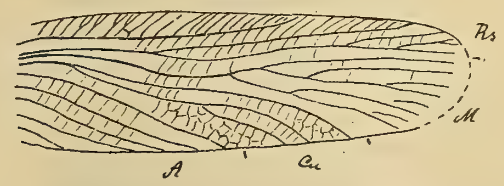
Wird vielleicht mit den Homalophlebiiden zusammenfallen, mit denen die weitgehende Einengung des Sector radii und die Verkürzung der Subcosta übereinstimmt. Die Medialis ist reich entwickelt, der stark geschwungene Cubitus dagegen gabelt sich nahe der Basis in einen einfachen vorderen und einen gegabelten hinteren Ast. Dahinter folgen fünf relativ kurze Analadern, die ein breites Analfeld ausfüllen. Breitere Zwischenräume mit Netzwerk, schmälere mit Queradern.

Genus Anhomalophlebia n. gen.

Anhomalophlebia Couloni Meunier aus Commentry (Fig. 45).

Homalophlebia Couloni Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 128, f, 12, 1911.
— — — Annal. Paleont., VII, 17, t. 8, f. 5, 1912.

Fig. 45.



Anhomalophlebia Couloni Meun. × 2.

Ein etwa 30 *mm* langer Vorderflügel. Ist sicher generisch von *Homalophlebia* zu trennen.

Fam. **Sthenaropodidae** Handl.

Auch diese provisorische Familie wird vermutlich mit den Oedischiiden zusammenfallen müssen. Was mich veranlaßt, sie vorläufig noch getrennt zu behandeln, ist nur der Umstand, daß von *Sthenaropoda* der lange schmale Prothorax bekannt ist und daß ich nicht weiß, ob er bei den Oedischiiden ähnlich war. Wenn ich mich nicht täusche, ist immer ein kleines Präcostalfeld vorhanden. Nur aus Commentry bekannt.

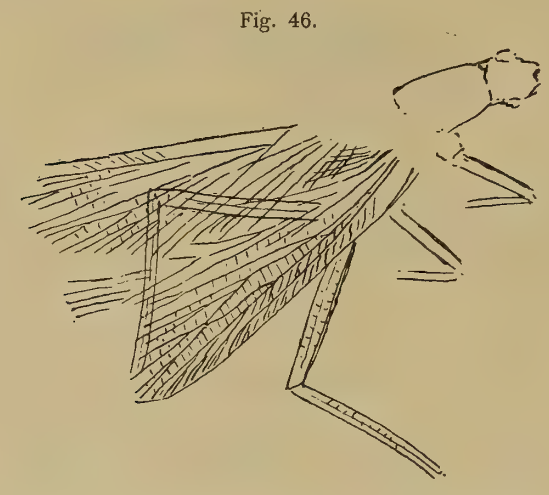
Genus Sthenaropoda Brongn.

Archaeacridites Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XV. 39, 1909.

Sthenaropoda Fischeri Brongn. (Fig. 46).

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent. III, 150, f. 88.

Fig. 46.



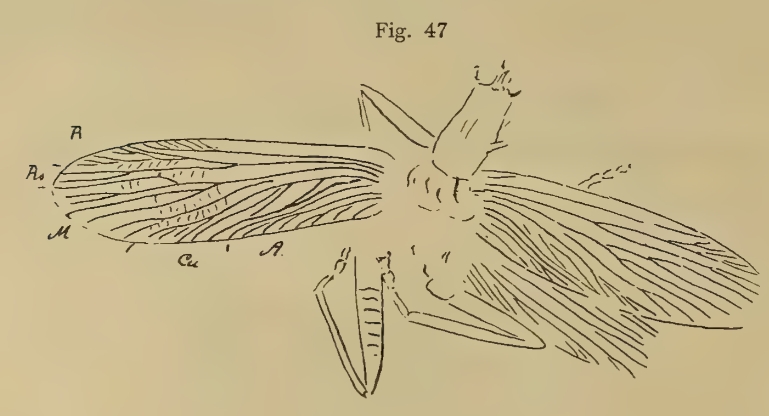
Sthenaropoda Fischeri Brongn. × 1 (schematisiert).

Die von mir Taf. 14, f. 14, gebrachte Abbildung ist eine schlechte Kopie des etwas undeutlichen Photogrammes von Brongniart und wird hier durch eine hoffentlich bessere ersetzt.

Sthenaropoda elegantissima Meunier (Fig. 47).

Archaeacridites elegantissima Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XV, 45, f. 5, 1909.
— — — Ann. Soç. Sc. Brux., XXXIII, 140, 1909.
— — — Annal. Paleont., IV, 146, t. 5, f. 2, 1909.

Fig. 47



Sthenaropoda elegantissima Meun. × 1.

Die Länge des Vorderflügels beträgt etwa 46 *mm*. Der lange Prothorax ist deutlich zu sehen. Ich finde keinen triftigen Grund zur generischen Trennung dieser Form von *Sthenaropoda*.

Sthenaropoda Bruesi Meunier (Fig. 48).

Archaeacridites Bruesi Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XV, 39, f. 2, 1909.
— — — Annal. Paleont., IV, 145, t. 5, f. 1, 1909.

Ein 48 *mm* langer gut erhaltener Vorderflügel mit deutlich erhaltenem Präcostalfelde. Jedenfalls mit *elegantissima* sehr nahe verwandt.

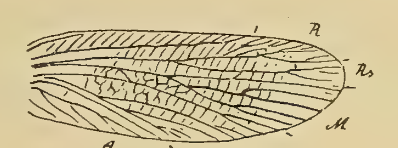
Sthenaropoda minor m. (Fig. 49).

Sthenaropoda Fischeri Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XV, 44, f. 3, 4, 1909.
— — — Annal. Paleont., IV, 148, t. 5, f. 4, 4*a*, 1909.

Fig. 48.

Sthenaropoda Bruesi Meun. × 1.

Fig. 49.



Sthenaropoda minor n. sp. × 1.

Ein 43 *mm* langer Vorderflügel mit deutlich erhaltenem Präcostalfelde. Durch mehrere Merkmale von der größeren *Fischeri* Brongniart's verschieden.

Fam. **Oedischiidae** Handl.

Offenbar mit den vorhergehenden Formen nahe verwandt und in der Verkürzung der Subcosta, Verästelung des Radius gegen die Costa zu, in der verhältnismäßig geringen Entfaltung des Sector, der durch eine Anastomose mit der Medialis in Verbindung tritt, übereinstimmend.

Über die Form des Thorax ist mir nichts bekannt.

Genus Oedischia Brongn.

Hier sind die Hinterbeine deutlich als Sprungbeine zu erkennen. Die schlanken Vorderflügel zeigen ein deutliches Präcostalfeld und vier einfache gegen den Hinterrand gebogene Analadern.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Intern. Ent., t. 7, f. 5, 1911, Handb. Ent. III, 151, f. 89.

Oedischia Williamsoni Brongn. aus Commentry.

Oedischia Filholi Brongn. aus Commentry.

Bis auf weiteres möchte ich noch folgende im Handbuche enthaltene Formen in dieser Familie unterbringen:

Genus Acridites Germar mit **carbonarius** Germar aus dem oberen Obercarbon von Wettin in Sachsen.

Genus Plesioidischia Schlechtend. mit **Baentschi** Schlechtend. aus dem unteren Perm von Lebach in Deutschland.

Genus Macrophlebium Goldenb. mit **Hollebeni** Goldenb. aus dem oberen Obercarbon von Manebach in Thüringen.

Macrophlebium Hollebeni Schlechtendal, Nova Acta. XLVIII, t. 2, f. 9, t. 7, f. 7, 1913.

Ein etwas undeutliches Photogramm und eine wohl zu stark schematisierte Zeichnung.

Genus Berlichia Schlechtend. mit **Wettinensis** Schlechtend. aus dem oberen Obercarbon von Wettin in Sachsen.

Berlichia Wettinensis Schlechtendal, Nova Acta, XLXIII, 97, t. 4, f. 27*a, b,* 1913.

Ein sehr undeutliches Photogramm.

Genus **Genentomum** Scudder mit **validum** Scudder vom Mazon Creek in Illinois.

Genus **Progenentomum** Handl. mit **carbonis** Handl. vom Mazon Creek.

Dazu füge ich weiters:

Genus Palaeoedischia Meunier.

Palaeoedischia Boulei Meunier aus Commentry (Fig. 50).

Palaeoedischia Boulei Meunier, Bull. Soc. Ent. Fr. (1914), 363, t. 4, 1914.

Ein etwa 50 *mm* langer Flügel mit deutlichem Präcostalfelde, sehr stark verkürzter Subcosta, schwach verzweigtem Sector radii, reich verzweigter Medialis und sehr stark in Netzwerk aufgelöstem Cubitus, der durch einen nach vorne gewendeten Ast mit der Medialis in Verbindung tritt. Der Stamm des Radius sendet zahlreiche Äste nach vorne.

Vielleicht wird für dieses Fossil einmal eine eigene Familie errichtet werden müssen.

Genus Stenoneurites Handl.

Errichtet auf einen Vorderflügel aus Commentry, den Brongniart und Meunier in die Protoblattoidengattung *Stenoneura* eingereiht haben. Vielleicht wird auch dieses Genus einst als Repräsentant einer eigenen Familie zu betrachten sein, obwohl es in der verkürzten Subcosta und relativ reichen Entfaltung der Medialis mit den übrigen Formen der Oedischiiden übereinstimmt. Der Radius entsendet nur kurze queraderartige Ästchen nach vorne. Der Sector ist sehr ursprünglich gebaut und bildet sechs regelmäßige Äste, deren proximal erster durch eine schräg gestellte Brücke mit dem verzweigten vorderen Hauptaste der Medialis in Verbindung tritt. Der hintere Hauptast der Medialis bleibt ungeteilt. Dann folgt eine mit kurzen schrägen Endästchen versehene Ader, die vermutlich schon dem Cubitus angehört. Weiters sehe ich eine große Gabel des Cubitus, deren vorderer Hauptast zahlreiche Zweige gegen den einfachen hinteren Ast und gegen den Hinterrand entsendet. Drei kurze schräge Analadern. Queradern sehr zahlreich, stellenweise netzartig.

Stenoneurites Maximi Brongniart (Fig. 51).

Stenoneura Maximi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 552, 1893.
Stenoneurites Maximi Handlirsch, Foss. Ins. 153, 1907.
Stenoneura Maximi Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 125, f. 9, 1911.
— — — Annal. Paleont., VII, 14, t. 8, f. 2, 1912.

Ein 35 *mm* langer Vorderflügel. Brongniart hat diese Form nicht abgebildet und nur sehr mangelhaft charakterisiert, doch konnte ich schon aus diesen knappen Angaben schließen, daß es sich

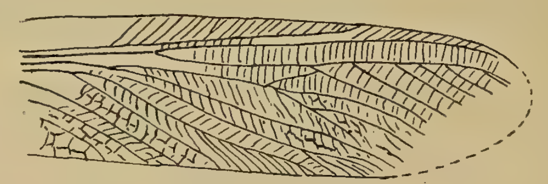
Fig. 50.





Palaeoedischia Boulei Meun. × 1.

Fig. 51.



Stenoneurites Maximi Brongn. × 2.

um keine *Stenoneura* handle. Durch Meunier's Abbildung des Brongniart'schen Originales komme ich nun in die Lage festzustellen, daß es sich überhaupt um keine *Stenoneuride* und nicht einmal um eine *Protoblattoide*, sondern um eine *Protorthoptere* handle, welche ich provisorisch bei den Oedischiiden einreihe.

Fam. Sthenaroceridae Handl.

Diese Form ist durch einen kurzen gedrungenen Prothorax und lange kräftige Fühler sowie durch sehr lange schlanke Flügel mit reich verzweigtem Sector radii gekennzeichnet. Nachdem aber die Medial-, Cubital- und Analregion nicht zu entziffern ist, fällt es mir schwer, etwas über verwandtschaftliche Beziehungen zu äußern.

Genus Sthenarocera Brongn.

Sthenarocera pachytyloides Brongn. und ? **Bureaui** Brongn. aus Commentry.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent. III, 152, f. 91.

Protorthoptera incertae sedis.

Geraroides Handl. mit **maximus** Melander vom Mazon Creek.

Gerarites m. mit **Commentryi** Brongn. aus Commentry.

Gerarus? Commentryi Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 40, f. 10, 1893.
Gerarus? Commentryi Handlirsch, Foss. Ins. 326, t. 33, f. 24, 1907.

Die von Brongniart unter diesem Namen abgebildeten zwei Fossilien sind jedenfalls verschieden und können auch nicht halbwegs sicher zu *Gerarus* gestellt werden. Nach dem stark geschwungenen Cubitus zu schließen, dürfte es sich bei Fig. 10 Brongniart's um eine Form aus der Verwandtschaft der Spanioderiden handeln.

Gerarianus m. **Commentryanus** m. aus Commentry.

Gerarus? Commentryi Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 40, f. 11, 1893.
Gerarus? Commentryi Handlirsch, Foss. Ins., 326, t. 33, f. 23, 1907.

Gehört wohl auch zu den Protorthopteren, aber offenbar nicht zu Gerarus.

Axiologus Handl. mit **thoracicus** Handl. vom Mazon Creek.

Nach dem Thorax zu schließen, wohl ein *Protorthopteron.*

Endoiasmus Handl. mit **reticulatus** Handl. vom Mazon Creek.

Chrestotes Scudder mit **lapidea** Scudder vom Mazon Creek.

Chrestotella m. **Danae** Scudder vom Mazon Creek,

Miamia Danae Scudder, Worth. Geol. Surv. Ill., III, 566, f. 1, 1868.
Gerarus Danae Scudder, Mem. Bost. Soc., III, 345, t. 31, f. 5, 1885.
Chrestotes Danae Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3), XXI, 66, 1885.
? *Chrestotes Danae* Handlirsch, Proc. U. S. Nat. Mus., XXIX, 804, 1906.
— — — Foss. Ins., 329, t. 34, f. 11, 1907.

Um der nomenklatorischen Verwirrung ein Ende zu machen, gebe ich dieser Form, die ja doch nach der Verzweigung des Sector zu schließen, von *lapidea* nicht unwesentlich abweicht, einen neuen Genusnamen.

? Ordo Protorthoptera vel Protoblattoidea.

Bei einer Reihe von Formen, unter denen sich recht auffallende befinden, bin ich nicht in der Lage, mit einiger Sicherheit anzugeben, in welche der beiden Ordnungen sie gehören. Daraus soll jedoch nicht geschlossen werden, daß diese Ordnungen unhaltbar geworden sind, denn meine Unschlüssigkeit beruht in allen Fällen auf der mangelhaften Erhaltung der betreffenden Fossilien. Vor allem fehlen

so häufig die maßgebenden Körperteile und die Beine, in denen sicher der am leichtesten faßbare Unterschied zwischen den beiden Ordnungen liegen wird. Können wir doch annehmen, daß der Thorax schon bei den Protoblattoiden mehr depreß war mit der Neigung zu scheibenförmiger Entfaltung, daß die Hüften größer und genähert waren und die Tarsen fünfgliedrig, während bei den Protorthopteren vermutlich mehr kompresser Thorax mit der Tendenz zur Verlängerung oder Sattelform, kleinere getrennte Hüften und drei- oder viergliedrige Tarsen zu erwarten sind.

Fam. **Omaliidae** Handl. (emend.).

Omalidae Handlirsch, Foss. Ins., 145, 1907.

Omalia macroptera Van Bened. et Coemans. aus dem mittl. Oberc. von Belgien.

Fam. **Cacurgidae** Handl.

Cacurgidae Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 323, 1911.

Genus Cacurgus Handl.

Cacurgus spilopterus Handlirsch vom Mazon Creek in Illinois.

Cacurgus spilopterus Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 324. f. 29, 30, 1911

Genus Spilomastax Handl.

Spilomastax oligoneurus Handlirsch vom Mazon Creek.

Spilomastax oligoneurus Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 326, f. 31, 1911.

Von den im Handbuch erwähnten Formen rechne ich hieher:

Palaeomastax Handl. mit **carbonis** Handl. aus Belgien.

Archimastax Handl. mit **americanus** Handl. aus Nordamer.

Archaeologus Handl. mit **falcatus** Handl. aus Nordamer.

Fam. **Narkemidae** Handl.

Genus Narkema Handl.

Narkema taeniatum Handl. vom Mazon Creek.

Narkema taeniatum Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 322. Fig. 28, 1911.

Fam. **Klebsiellidae** n. fam.

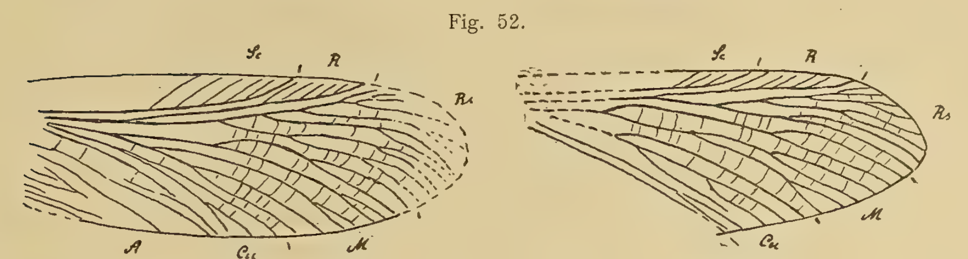
Errichtet auf ein Fossil aus Commentry, welches in mancher Hinsicht etwas an die mit *Oedischia* verwandten Formen erinnert, aber in anderer Hinsicht wieder Charaktere der Protoblattoiden erkennen läßt. Die Flügel sind relativ breit mit verkürzter Subcosta, die namentlich im Vorderflügel ein breites Costalfeld begrenzt. Der Radius sendet eine Anzahl kurzer Ästchen zum Costalrand, sein Sector ist in normaler Weise reich verzweigt. Auch die beiden Äste der Medialis sind wiederholt gegabelt. Der Cubitus dagegen bildet nur drei bis vier Zweige. Das Analfeld war relativ groß und nach vorne fast geradlinig begrenzt, im Hinterflügel bildete es einen kleinen Fächer. Queradern schütter.

Genus **Klebsiella** Meunier.

Klebsiella exstincta Meunier (Fig. 52).

Klebsiella exstincta Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 245, f. 2, 1908.
— — — Bull. Soc. Sc. Brux., XXXII, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 139, t. 2, f. 3, 1909.

Fig. 52.



Klebsiella exstincta Meun. × 2 (Vorder- und Hinterflügel).

Länge der Flügel etwa 30 *mm*.

Fam. **Cnemidolestidae** Handl.

Genus **Cnemidolestes** Handl. mit **Gaudryi** Brongn. und **Woodwardi** Brongn. aus Commentry.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 154, f. 97.

? Genus **Protodiamphipnoa** Brongn. mit **Tertrini** Brongn. aus Commentry.

Fam. **Roomeriidae** n. fam.

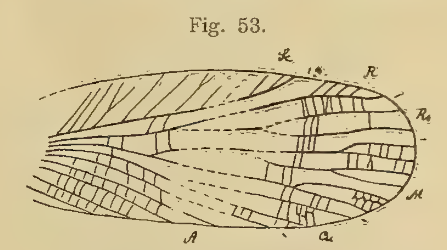
Ein schöner Vorderflügel aus Commentry von auffallend elliptischer Form erinnert durch das besonders breite von den Ästchen der verkürzten Subcosta erfüllte Costalfeld an die Protoblattoiden, durch die sanft geschwungenen fünf Analadern an Protorthopteren. Der Radius hat einen einfach gegabelten Sector, die Medialis zerfällt in zwei Hauptäste, von denen der eine zwei, der andere nur eine Endgabel bildet. Der Cubitus ist einfach gespalten. Zahlreiche, stellenweise netzartig verschlungene Queradern.

Genus **Roomeria** Meunier.

Roomeria carbonaria Meunier (Fig. 53).

Roomeria carbonaria Meunier, Bull. Soc. Ent. Fr. (1914) 388, f. 1, t. 5, f. 1, 1914.

Fig. 53.



Roomeria carbonaria Meun. × 1·7.

Länge des Flügels 30 *mm*.

Fam. **Lemmatophoridae** Sellards.

Lemmatophoridae et *Ortadae* Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 162, 168, 1909 pp.

Bei dieser aus dem unteren Perm von Kansas stammenden Gruppe wird eine membranöse Erweiterung des Prothorax erwähnt. Die Subcosta ist verkürzt. Der Radius mit dem nicht oder schwach verzweigten Sector erinnert an die Probnisiden. Medialis und Cubitus sind schwach verzweigt, die Analadern mehr wie bei den Protorthopteren gestreckt. Durchwegs kleine Tiere.

Genus Lemmatophora Sellards.

Lemmatophora Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 162, 1909.

Lemmatophora typa Sellards.

Lemmatophora typa Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 162, f. 24, 1909.

Lemmatophora anomala Sellards.

Lemmatophora anomala Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 163, 1909.

Lemmatophora elongata Sellards.

Lemmatophora elongata Sellards, Amer. Journ. Sc., XXII, 163, 1909.

Lemmatophora delicosa Sellards.

Lemmatophora delicosa Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 163, 1909.

Lemmatophora hirsuta Sellards.

Lemmatophora hirsuta Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 163, 1909.

? Genus Lisca Sellards.

Dürfte kaum von *Lemmatophora* verschieden sein.

Lisca minuta Sellards.

Lisca minuta Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 163, f. 21, 1909.

? Genus Artinska Sellards.

Auch diese Gattung würde ich nicht von *Lemmatophora* trennen.

Artinska clara Sellards.

Artinska clara Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 165, f. 25, 1909.

Artinska gracilis Sellards.

Artinska gracilis Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 165, 1909.

Artinska pecta Sellards.

Artinska pecta Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVIII, 165, 1909.

Artinska medialis Sellards.

Artinska medialis Sellards, Amer. Jour. Sc., XXVII, 165, 1909.

Artinska major Sellards.

Artinska major Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 166, 1909.

Artinska extensa Sellards.

Artinska extensa Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 166, 1909.

Genus Estadia Sellards.

Estadia elongata Sellards.

Estadia elongata Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 166, f. 15, 1909.

Estadia arcuata Sellards.

Estadia arcuata Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 166, 1909.

Estadia tenuis Sellards.

Estadia tenuis Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 166, 1909.

?Estadia parva m.

?*Estadia* sp. Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 165, f. 19, 1909.

? Genus Lectrum Sellards.

Wohl kaum von *Lemmatophora* zu trennen.

Lectrum anomalum Sellards.

Lectrum anomalum Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 167, f. 28, 1909.

? Genus Prosaites Sellards.

Nicht abgebildet und daher schwer zu beurteilen.

Prosaites compactus Sellards.

Prosaites compactus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 167, 1909.

Prosaites secundus Sellards.

Prosaites secundus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 167, 1909.

? Genus Paraprisca m.

Prisca Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 167, 1909 (nomen praeoccup.).

Es ist fraglich, ob diese zartflügelige Form hieher gehört.

Paraprisca fragilis Sellards.

Prisca fragilis Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 167, f. 22, 1909.

Genus Orta Sellards.

Sehr ähnlich *Artinska* und nach meiner Ansicht keineswegs als Familie berechtigt.

Orta ovata Sellards.

Orta ovata Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 168, f. 23, 1909.

? Fam. Lecoriidae n. fam.

Lemmatophoridae et *Ortadae* pp., Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 162, 168, 1909.

Zwei von den kleinen permischen Formen aus Kansas scheinen sich dadurch auszuzeichnen, daß die beiden Äste des Cubitus scheinbar getrennt aus dem Stamme der Medialis entspringen und ohneweiteres als Medialäste angesprochen werden müßten, wenn dahinter noch etwas wäre, was man als Cubitus deuten könnte. Wenn die Abbildungen richtig sind, handelt es sich hier also um eine weitgehende Verschmelzung von Medialis und Cubitus. Die Medialis bildet etwa vier Zweige, der Sector radii ist einfach oder gegabelt, die Subcosta verkürzt.

Genus Lecorium Sellards.

Lecorium elongatum Sellards.

Lecorium elongatum Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 167, f. 26, 1909.

Genus Stemma Sellards.

Fällt vielleicht mit *Lecorium* zusammen.

Stemma elegans Sellards.

Stemma elegans Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 168, f. 27, 1909.

Stemma extensa Sellards.

Stemma extensa Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 168, 1909.

? Fam. **Delopteridae** Sellards.

Nach meiner Ansicht eine problematische Gruppe, die vielleicht mit den Lemmatophoriden zusammenfallen wird. Kleine Formen aus dem Perm von Kansas.

Genus Delopterum Sellards.

Delopterum minutum.

Delopterum minutum Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 168, f. 16, 1909.

Delopterum elongatum Sellards.

Delopterum elongatum Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 168, f. 20, 1909.

Delopterum latum Sellards.

Delopterum latum Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 168, f. 17, 1909.

? Genus Urba Sellards.

Nicht abgebildet und daher schwer zu beurteilen. Nach der Angabe über das schmale Analfeld und die punktierte Flügelmembran zu schließen, dürfte diese Form vielleicht in eine andere Familie gehören als die vorhergehenden.

Urba punctata. Sellards.

Urba punctata Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 169, 1909.

Protorthoptera vel Protoblattoidea incertae sedis.

Distasis Handl. mit **rhipiphora** Handl. aus Belgien.

Anthracomastax Handl. mit **furcifer** Handl. aus Belgien.

Hemeristia Scudder mit **occidentalis** Dana von Mazon Creek.

Typus für die Scudder'sche Gruppe *Hemesristina!*

Didymophleps Scudder mit **contusa** Scudder aus Illinois.

Ischnoneurilla m. **elongata** Brongn. aus Commentry.

Leptoneura elongata Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3) XXI, 62, 1885.
Ischnoneura elongata Brongniart, Faune ent. terr. prim. 555, t. 48, f. 12, 1893.
? *Ischnoneura elongata* Handlirsch, Foss. Ins., 326, 1907.

Nachdem dieses Fossil, welches erst nach neuer Untersuchung des Originales zu deuten sein wird, offenbar nicht zu *Ischnoneura* (Typus: *Oustaleti*) gehört, ziehe ich es vor, einen neuen Genusnamen aufzustellen.

Ischnoneurona m. **delicatula** Brongn. aus Commentry.

Leptoneura delicatula Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3) XXI, 62, 1885.
Ischnoneura delicatula Brongniart, Faune ent. terr. prim., 555, t. 48, f. 11, 1893.
? — — Handlirsch, Foss. Ins., 326, 1907.

Für diese kleine Form gilt das Gleiche wie für *elongata*.

Pseudogerarus Handl. mit **Scudderi** Handl. vom Mazon Creek.

Pseudopolyernus Handl. mit **laminarum** Scudder aus Pennsylvanien.

Otper Sellards mit **Brongniarti** Sellards aus dem Perm von Kansas.

Opter Brongniarti Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII. 151, f. 7, 1909.

Wird von Sellards als *Megasecopteron* gedeutet, ist aber nach meiner Ansicht nichts als ein Stück aus einem Protorthopteren- oder Protoblattoiden-Vorderflügel, bei dem der Analteil fehlt.

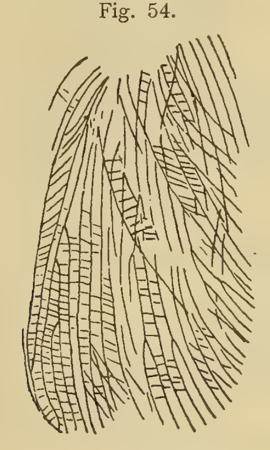
Genus Pseudooedischia n. g.

Pseudooedischia Berthaudi m. aus Commentry (Fig. 54).

Oedischia Filholi Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 126, f. 10, 1911. Annal. Paleont., VII, 15, f. 15, t. 8, f. 33*a*, 1912.

Vier übereinandergelagerte Flügel von etwa 33 *mm* Länge mit zahlreichen schwach divergenten Längsadern und vielen Queradern. Ohne Untersuchung des Originales, kann ich nur sagen, daß es sich

Fig. 54.



Pseudooedischia Berthaudi m. × 1·5.

sicher um keine *Oedischia* handelt und ganz sicher nicht um *Filholi* Brongn. Das Fossil Meunier's muß also neu benannt werden.

Ordo Protoblattoidea Handl.

Diese Gruppe beginnt nun auch schärfer hervorzutreten. Man erkennt deutlich gewisse Parallelismen mit den Protorthopteren und kann gewissermaßen die Grundlagen für die künftige Entfaltung herauslesen. Das wird sich alles noch deutlicher ergeben, sobald die Formen, welche ich jetzt noch als zweifelhaft hinter den Protorthopteren anführe, nach neuer Untersuchung ihren definitiven Platz erhalten haben werden. So wie wir bei den Protorthopteren deutliche Anklänge an die späteren Saltatorien finden, erkennen wir hier Momente, die uns an Blattarien, Mantodeen, Termiten und selbst an Coleopteren erinnern. Wir sehen also in beiden Fällen trotz der uns fremdartig anmutenden ererbten ursprünglichen Züge schon gewisse Entwicklungstendenzen ausgeprägt, ohne vorläufig einzelne geschlossene Ahnenreihen feststellen zu können. Auch die Protoblattoiden beginnen im mittleren Obercarbon und sind im unteren Perm noch reich vertreten.

Fam. **Fayoliellidae** Handl.

Thorax anscheinend scheibenförmig, aber von bescheidener Größe. Vorderbeine länger als die Mittelbeine, aber relativ zart. Flügel groß, elliptisch. Subcosta verkürzt. Costalfeld relativ breit. Radius mit kurzen Ästchen den Vorderrand erreichend, sein Sector normal gebaut, in drei Äste geteilt. Medialis frei, doppelt gegabelt. Cubitus gleichmäßig gebogen, mit etwa vier zum Teil gegabelten Ästen, die schief zum Hinterrande ziehen. Analfeld mäßig groß, mit mehreren gebogenen Analadern. Zahlreiche Queradern. Ein relativ ursprünglicher Typus aus Commentry:

Genus **Fayoliella** Meunier.

Fayoliella elongata Meunier (Fig. 55).

Fayoliella elongata Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 247, f. 3, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 149. t. 5, f. 5, 5*a*, 1909.

Fig. 55.



Fayoliella elongata Meun. × 2.

Flügellänge etwa 24 *mm.*

Fam. **Stenoneuridae** Handl.

Als Typus der Familie ist zu betrachten:

Genus **Stenoneura** Brongn. mit **Fayoli** Brongn. aus Commentry.

Rekonstruktion: Handl., Handb. Ent. III, 158, f. 105.

Typus dieser Art ist das von Brongniart auf p. 50 als Fig. 1, 2 und 3 abgebildete Exemplar mit ausgespreizten Vorderflügeln und zurückgelegten Hinterflügeln. Das als Fig. 5 dargestellte Exemplar, bei welchem Vorder- und Hinterflügel übereinander gelagert sind, gehört vermutlich zur gleichen Art oder wenigstens in dieselbe Gattung. Fig. 4 dagegen ist zu unklar und gehört villeicht in eine ganz andere Gruppe; ich führe es an anderer Stelle separat an.

Die von mir in den Foss. Ins. als *Stenoneurites* zu den Stenoneuriden gestellte Form gehört nicht hieher, sondern zu den Oedischiiden (*Protorthoptera*). Auch was Meunier als Stenoneuraarten bezeichnet, steht mit der echten *Stenoneura* in keiner nahen Beziehung.

Fam. **Stenoneurellidae** n. fam.

Körper gedrungen, nicht auffallend klein im Verhältnis zu den Flügeln. Beine kräftig, mäßig lang. Prothorax anscheinend ziemlich groß. Vorderflügel elliptisch mit breitem Costalfelde, welches nicht bis

zur Spitze reicht, und mit kurzem Analfelde, in dem zahlreiche gebogene Adern liegen. Der Sector radii bildet zahlreiche parallele schräg zum Rande ziehende Äste. Die Medialis bildet einen isolierten vorderen einfachen Ast und sendet dann einige verzweigte geschwungene Äste nach hinten aus. Der Cubitus nimmt sehr geringen Raum ein und bildet nur einige Äste. Von einem dichten netzartigen Zwischengeäder, wie es bei *Stenoneura* vorkommt, sehe ich auf dem Photogramm nichts, dagegen erkenne ich zahlreiche gerade Queradern.

Genus Stenoneurella n. gen.

Stenoneurella Fayoliana n. sp. aus Commentry (Fig. 56).

Stenoneura Fayoli Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XVII, 124, f. 8, 1911.
— — — Annal. Paleont., VII, 14, t. 7, f. 4, 1912.

Die Flügellänge beträgt 37 *mm.*

Fam. Prostenoneuridae n. fam.

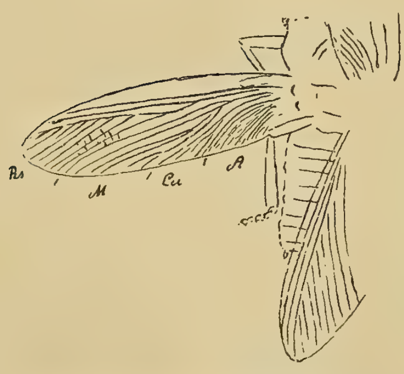
Prothorax im Vergleiche zu den Flügeln sehr klein, scheibenförmig, Kopf frei, klein mit gewölbten Augen und dünnen Fühlern. Vorderbeine kurz, ähnlich wie bei *Stenoneura.* Vorderflügel fast elliptisch mit verkürzter Subcosta und mäßig breitem Costalfelde. Der Sector radii entspringt nahe der Basis und bildet etwa vier zum Teil verzweigte lange Äste, welche den ganzen Spitzenrand ausfüllen und in ihrer Lage mehr an *Stenoneura* als an *Stenoneurella* erinnern. Die Medialis bildet eine lange gebogene Gabel mit gespaltenem Hinteraste. Der Cubitus ist von geringer Ausdehnung und bildet nur einige kurze gegen die Spitze orientierte Ästchen. Das ziemlich große durch eine gebogene Ader begrenzte Analfeld enthält einige verzweigte im Bogen gegen den Hinterrand ziehende Adern. Ich kann an dem etwas undeutlichen Photogramme nur vereinzelte Queradern, aber kein Netzwerk erkennen.

Genus Prostenoneura n. g.

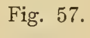
Prostenoneura Perrieri Meunier aus Commentry (Fig. 57).

Homalophlebia Perrieri Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XV, 46, f. 6, 1909.
— — — Ann. Soc. Sc., XXXIII, 140, 1909.
— — — Annal. Paleont., IV, 147, t. 5, f. 3, 1909.

Fig. 56.



Stenoneurella Fayoliana n. sp. × 1.





Prostenoneura Perrieri Meun. × 1.

Länge des Vorderflügels etwa 31 *mm.*

Ich finde auch nicht die Spur einer Ähnlichkeit mit dem Protorthopteron *Homalophlebia!*

Fam. **Protophasmidae** (Brongn.) Handl.

Genus **Protophasma** Brongn. mit **Dumasi** Brongn.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Intern. Ent. Brux., t. 8, f. 7, 1911; Handb. Ent., III, 159, f. 106.

Fam. **Eoblattidae** Handl.

Genus **Eoblatta** Handl. mit **robusta** Brongn. aus Commentry.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb., Ent., III, 159, f. 107.

Dazu kommt:

Genus **Anegertus** Handl.

Anegertus cubitalis Handl. vom Mazon Creek in Illinois.

Anegertus cubitalis Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 353, Fig. 32, 1911.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 160, f. 108.

Fam. **Oryctoblattinidae** Handl.

Scheint eine horizontal und vertikal weit verbreitete formenreiche Familie zu sein.

Genus **Oryctoblattina** Scudder.

Syn. *Blattinopsiella* Meunier; Bull. Mus. Hist. Nat., XIII, 523, 1907.

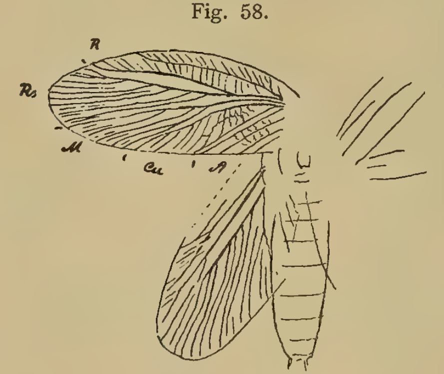
Zu den in den Foss. Ins. angeführten Arten: **laqueata** Scudder aus dem oberen Obercarbon von Mo. Nordamerika, **americana** und **latipennis** Handl. aus gleichalten Schichten von Ohio kommt nun eine Art aus Commentry:

Oryctoblattina pygmaea Meunier (Fig. 58).

Blattinopsiella pygmaea Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XIII, 523, f. 2, 1907.
— — — Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 92, t. 1, 1907.
— — — Ann. Paleont, IV, 150, f. 22, t. 5, f. 6, 6*a*, 1909.
— — — Comptes Rendus Acad. Paris, CLIV, 1194, 1912.

Ein sehr kleines Tier von 14 *mm* Flügellänge. Meunier entwirft ein vollkommen falsches, ganz unmögliches schematisches Bild des Flügels und findet an diesem allerlei Unterschiede von der Gattung *Blattinopsis*. Mit *Oryctoblattina* vergleicht er seine Art gar nicht. So entstehen eben seine »neuen«

Fig. 58.



Oryctoblattina pygmaea Meun. × 3.

Genera, die nur auf dem Papier existieren, während er die wirklich neuen meist zwangsweise in bekannte Gattungen einreiht, mit denen sie gar nichts zu tun haben.

Der Sector radii hat etwa sechs Äste und nicht 15, wie auf Meunier's Zeichnung, und der Stamm dieses Sector ist wie immer einfach, nicht, wie es Meunier darstellt, doppelt. Es werden offenbar die

bei diesen Tieren stets vorhandenen sogenannten Schaltadern, die dem Queradersysteme angehören, als Längsaderäste gedeutet. An der freien Medialis sehe ich nur drei Hauptäste.

Vielleicht ist diese Art identisch mit der von Brongniart erwähnten, aber nicht abgebildeten »*Fulgorina*« *parvula*, die ursprünglich den Namen »*Protociccus*« führte.

In der letzten von den zitierten Arbeiten gibt Meunier die Länge des Flügels mit 7 *mm* an.

Genus Blattinopsis Giebel.

Blattinopsis reticulata Germar aus dem oberen Obercarbon von Wettin.

Blattinopsis reticulata Schlechtendal, Nova Acta, XCVIII, 34, t. 4, f. 28, t. 5, f. 8, 1913.

Blattinopsis Taschenbergi (Schlechtend. i. l.) Handlirsch aus Wettin, **Goldenbergi** Brongn. und **ovalis** Brongn. aus Commentry, **anthracina** Handl. aus Ohio, **elegans** (Schlechtendal i. l.) Handl. aus Wettin.

? **Blattinopsis Perrieri** Meunier aus Commentry.

Blattinopsis Perrieri Meunier, Comptes Rendus, CLIV, 1194, 1912.

Die letzte ist nicht beschrieben.

Genus Anadyomene K. v. Fritsch mit **Huysseni** K. v. Fritsch aus Sachsen (Ob. Obercarbon).

Genus Glaphyrophlebia Handl. mit **pusilla** Handl. vom Mazon Creek.

Genus Microblattina Scudder mit **perdita** Scudder aus dem ? oberen Obercarbon von R. J. Nordamerika.

Genus Prisca K. v. Fritsch mit **wettinensis** K. v. Fritsch aus Wettin.

? Genus Rhipidioptera Brongn. mit **elegans** Brongn. aus Commentry.

Herr Meunier, dem die Originale zugänglich sind, hätte doch endlich die Größe dieses Fossils angeben können.

Genus Oryctomylabris Handl. mit **oblonga** Deichm. aus dem unteren Perm von Weissig in Deutschland.

Genus Pseudofulgora Handl. mit **Ebersi** Dohrn aus dem unteren Perm von Birkenfeld.

Genus Sindon Sellards.

Sindon speciosa Sellards aus dem unteren Perm von Kansas.

Sindon speciosa Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 154. f. 1, 1909.

Sehr ähnlich *Oryptoblattina.*

Genus Pursa Sellards.

Pursa ovata Sellards aus dem unteren Perm von Kansas.

Pursa ovata Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 153, f. 4, 1909.

Erinnert sehr an *Glaphyrophlebia pusilla.*

? Genus Protociccus Brongniart mit **parvulus** und **fuscus** Brongn. aus Commentry.

Der Autor stellt diese Formen später ohne nähere Beschreibung oder Abbildung zu »*Fulgorina*«.

? «**Fulgorina minor**« Brongn. Als nomen nudum zu betrachten.

Fam. **Asyncritidae** Handl.

Genus Asyncritus Handl.

Asyncritus reticulatus Handl. vom Mazon Creek.

Asyncritus reticulatus Handlirsch, Amer. Journ. Sc.. XXXI, 355, f. 33, 1911.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 161, f. 110.

Fam. **Epideigmatidae** Handl.

Genus Epideigma Handl.

Epideigma elegans Handl. vom Mazon Creek.

Epideigma elegans Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 356, f. 34, 1911.
Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 161, f. 111.

? Fam. **Aetophlebiidae** Handl.

Könnte eventuell auch ein *Protorthopteron* sein.

Genus Aetophlebia Scudder mit **singularis** Scudder von Mazon Creek.

Fam. **Cheliphlebiidae** Handl.

Genus Cheliphlebia Scudder.

Cheliphlebia carbonaria Scudder vom Mazon Creek.

? **Cheliphlebia mazona** Handl. vom Mazon Creek.

? *Cheliphlebia mazona* Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 358, f. 35, 1911.

Vermutlich gehört hieher auch:

Genus Megalometer Handlirsch mit **lata** Handl. vom Mazon Creek.

Fam. **Eucaenidae** Handl.

An der Hand neuerer Funde konnte das Flügelgeäder besser entziffert werden und die in meinen Foss. Ins. enthaltene Beschreibung läßt sich dahin richtigstellen, daß der Stamm des Radius der Flügel distal vom Ende des Costalfeldes einige Ästchen nach vorne entsendet. Der Sector entspringt nahe der Basis und bildet etwa vier oder fünf Äste, mit denen er einen viel größeren Raum beansprucht als ich seinerzeit glaubte. Die Medialis dagegen ist im Vorderflügel doppelt gegabelt, im Hinterflügel dagegen sehr reduziert. Der Cubitus bildet im Vorderflügel eine Reihe schief zum Hinterrande ziehender Äste, im Hinterflügel vermutlich nur eine lange Gabel. Im Vorderflügel ist das Analfeld klein, blattidenartig, im Hinterflügel groß, mit fächerartig divergenten Adern.

Genus Eucaenus Scudder. Alle Arten vom Mazon Creek.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Int. Ent. Brux., t. 6, f. 8. 1911 und Handb. Ent., 162, f. 112.

Eucaenus ovalis Scudder.

Eucaenus ovalis Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 959, f. 36—39, 1911.

Eucaenus mazonus Melander.

Eucaenus mazonus Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 362. f. 42, 1911.

Eucaenus minor Handl.

Eucaenus minor Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 362, f. 40, 41, 1911.

Eucaenus attenuatus Melander.

Eucaenus pusillus Handl.

Eucaenus pusillus Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 362, f. 43, 1911.

Eucaenus rotundatus Handl.

Eucaenus rotundatus Handl., Amer. Journ. Sc., XXXI, 363. f. 44, 1911.

Das Geäder dieser Art habe ich früher nicht richtig gedeutet.

Fam. Gerapompidae Handl.

Ist jedenfalls nahe verwandt mit den Eucaeniden und wird vielleicht damit zu vereinigen sein.

Genus Gerapompus Scudder mit **Schucherti** Handl., **blattinoides** Scudder, **extensus** Scudder vom Mazon Creek.

Fam. Adiphlebiidae Handl.

Genus Adiphlebia Scudder mit **Lacoana** Scudder und **longitudinalis** Scudder vom Mazon Creek

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 163, f. 113.

Fam. Anthracothremmidae Handl.

Durch neue Formen wird die Charakteristik der Familie erweitert und richtiggestellt. Das Analfeld ist sehr reduziert, die Subcosta verkürzt und alle Adern haben die Tendez, sich in der Längsrichtung des Flügels zu strecken. Die Zahl der Aderäste ist sehr verschieden, aber bei der Medialis immer gering. Alle Arten vom Mazon Creek.

Genus Anthracothremma Scudder.

Anthracothremma robusta Scudder.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 163, f. 114.

Genus Pericalyphe Handl.

Pericalyphe longa Handl.

Pericalyphe longa Handlirsch. Amer. Journ. Sc., XXXI, 363, f. 45, 1911.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 164, f. 115.

Genus Melinophlebia Handl.

Melinophlebia analis Handl.

Melinophlebia analis Handlirsch, Amer. Journ. Sc.. XXXI, 364, f. 46, 1911.

Genus Silphion Handl.

Silphion latipenne Handl.

Silphion latipenne Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 365, f. 47, 1911.

Protoblattoidea insectae sedis.

Genus Pseudetoblattina Handl. mit **reliqua** Scudder von Rhode Island.

Genus Agogoblattina Handl. mit **occidua** Scudder vom Mazon Creek.

Genus Polyernus Scudder mit **complanatus** Scudder vom Mazon Creek.

Genus Polyetes Handl. mit **furcifer** Handl. vom Mazon Creek.

Genus Strephocladus Scudder mit **subtilis** Kliver aus dem oberen Obercarbon von Schiffsweiler in Deutschland.

Genus Protoperla Brongn. mit **Westwoodi** Brongn. aus Commentry.

Vermutlich gehören auch die beiden Larvenformen vom Mazon Creek hieher, die ich als (**Protoblattoidea**) **Sellardsi** Handl. und **minor** Handl. bezeichnete.

Von ersterer brachte ich eine neue Abbildung im Amer. Journ. Sc., XXXI, 366, f, 49, 1911, von letzterer ebenda, f. 48.

Ordo Blattariae Latr.

Blattoidea Handlirsch, Foss. Ins. 1906.

Diese Gruppe gedenke ich in einem zweiten Teile der Revision später zu behandeln; sie enthält die größte Zahl der paläozoischen Insekten, hat aber für allgemein phylogenetische Fragen weit geringere Bedeutung als für stratigraphische Probleme.

Ordo Mantodea Burm.

In diese bis heute lebende Gruppe stelle ich von den paläozoischen Insektenresten nach wie vor nur zwei Formen aus dem oberen Perm.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß sie von Protoblattoiden abstammen.

Fam. **Palaeomantidae** Handl.

Genus Palaeomantis Handl. mit **Schmidti** Handl. aus dem oberen Perm Rußlands.

Genus Petromantis Handl. mit **rossica** Handl. von gleicher Provenienz.

Ordo Sypharopteroidea Handl.

Sypharopteroidea Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 372, 1911.

Ein kleines Tier aus dem mittleren Obercarbon, welches offenbar einem stark spezialisierten wieder erloschenen Seitenzweige der Palaeodictyopteren angehört.

Fam. **Sypharopteridae** Handl.

Sypharopteridae Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 372, 1911.

Genus Sypharoptera Handl.

Sypharoptera Handlirsch, Amer. Journ. Sc.., XXXI, 372, 1911.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Intern. Ent. Brux., t. 9. f. 20, 1911, Handb. Ent., III, 144, f. 74.

Sypharoptera pneuma Handl. vom Mazon Creek.

Sypharoptera pneuma Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 372, f. 55, 1911.

? Ordo Hapalopteroidea Handl.

Fam. **Hapalopteridae** Handl.

Genus **Hapaloptera** Handl. mit **gracilis** Handl. aus dem ?oberen Obercarbon von Pennsylvanien.

Ich kann noch nicht sagen, ob es sich hier wie bei *Sypharoptera* um ein selbständiges Seitenglied der Palaeodictyopteren oder um eine etwas aberrante Protorthopterentype handelt.

Ordo Protodonata (Brongn.) Handl.

Ob die Gruppe der paläozoischen libellenähnlichen Formen als eigene Ordnung zwischen die Palaeodictyopteren und modernen Odonaten eingeschaltet oder nach dem Vorschlage von Sellards nur als Unterordnung der Odonaten aufgefaßt wird, ist im Grunde gleichgültig. Die Hauptsache ist ja doch, festzustellen, ob es sich in diesen alten Formen um ein Bindeglied zwischen den Palaeodictyopteren und den modernen hochspezialisierten Odonaten handelt. Und in Bezug auf diese Frage dürfte wohl kein Zweifel mehr bestehen, denn wir finden hier sehr deutliche Anklänge an die modernen Formen neben altertümlichen Charakteren und sehen die eingeschlagene Entwicklungsrichtung bereits deutlich ausgeprägt.

Sellards glaubte bei einer permischen Form bereits die charakteristische Kreuzung des Sector radii mit der Medialis gefunden zu haben und hielt deshalb meine Deutung des Meganeuridengeäders für unrichtig. In letzterem Punkte kann er wohl recht haben; aber wenn nicht alle Zeichen trügen, so ist die Basis, auf welcher er diese seine Ansicht aufbaut, doch wieder ein Irrtum, denn eine Aderkreuzung so weit draußen am Ende des Flügels dürfte bei den alten Formen kaum zu erwarten sein. Gerade hier müssen wir voraussetzen, daß der Sector radii noch näher der Basis abzweigte als bei den rezenten Typen und nicht ganz nahe am Ende des Flügels. Wir können doch nicht annehmen, daß die Reduktion des Sector damals viel weiter vorgeschritten war, als sie es heute ist. Zudem scheint es wohl zweifellos, daß mit der Kreuzung parallel die Bildung des Nodus und des Flügelmales einherging, die bei vorgeschrittener Kreuzung also schon da sein müßte, bei der von Sellards untersuchten Form aber noch nicht zu sehen ist.

Unter den von Meunier veröffentlichten Formen findet sich nun ein Flügel, an dem die Abzweigungsstelle der als Radius, Sector radii und Medialis zu betrachtenden Adern so gut erhalten ist, daß sogar das Photogramm einige Details erkennen läßt. Man sieht deutlich, daß dem Hauptstamme des Radius ein Stück weit eine zweite Ader eng angeschmiegt ist. Schon etwas vor dem ersten Viertel der Flügellänge erfolgt nun die Dreiteilung dieser Doppelader bei Punkt F_1 meiner schematischen Abbildung anscheinend in der Weise, daß aus der vorderen, also aus dem Radius eine Ader abzweigt, welche sich unmittelbar an ihrer Ursprungsstelle mit der hinteren Hauptader, die wir als Medialis deuten müssen, kreuzt.

Wir können nun verschiedene Deutungen vornehmen, deren Richtigkeit erst durch neuerliche sorgfältige Untersuchung der Originalfossilien oder wenigstens stark vergrößerter scharfer Photogramme wird festgestellt werden können:

1. Die Kreuzung ist eine vollkommene, einfache, so daß die dritte aus der Teilung der Doppelader hervorgegangene Ader, die sich bei $F3$ der Fig. 60 in die Adern 5, 6, 7 weiter verzweigt, dem Sector radii entspricht, die vordere dagegen, die sich bei $F\,2$ teilt und die Adern 3 und 4 bildet, der Medialis. Wir hätten dementsprechend hier eine Medialis ohne isolierten Vorderast, die in ihrer Gänze und nicht wie bei den rezenten Odonaten nur in ihrer vorderen Hälfte vor dem Sector radii zu liegen käme.

2. Die Kreuzung bei $F\,1$ ist nur eine scheinbare und die Hauptadern liegen in der ursprünglichen Reihenfolge, wie ich es seinerzeit angenommen habe. Es würden also die Adern 3 und 4 dem Sector radii, 5, 6, 7 der Medialis entsprechen.

3. Die Kreuzung bei F_1 ist keine vollkommene, sondern nur eine Störung oder Verlötung, wie es öfter vorkommt. Die Ader 5, 6, 7 entspricht dem hinteren Hauptaste der Medialis, welche sich bei F_1 gleichzeitig mit dem Sector radii gabelt und ihren einfachen (ursprünglichen!) Vorderast für die Strecke F_1—F_2 dem Sector radii anschmiegt, um ihn dann als Ader 4 wieder frei weiterzuführen. Für diese Auffassung scheint mir vor allem zu sprechen, daß sie sich am besten mit der ursprünglichen Bauart des Sector und der Medialis verträgt und noch eine Ähnlichkeit im Bau von Medialis und Cubitus erkennen läßt. Wenn meine Deutung des Protagriongeäders richtig ist, so wäre in dem Meganeurageäder nur ein Schritt vorwärts in der Richtung zu den modernen Odonaten getan.

4. Die Kreuzung bei F_1 ist eine vollkommene, die Adern 3 und 4 gehören der Medialis an, aber die zweite Hälfte der Medialis bleibt mit dem Sector radii bis F_3 vereinigt und bildet dann die Adern 6, 7, so daß nur 5 dem Sector radii entspräche. Wir hätten so die Einlagerung des Sector in die Mitte der Medialis wie bei den modernen Formen, aber in anderer noch pimitiverer Weise erzielt und müßten annehmen, daß dieser Zustand später in anderer Weise noch einmal zustande gekommen sei. Das ist immerhin etwas unwahrscheinlich.

5. In F_1 haben wir keine Kreuzung sondern nur eine Verlötung des Radius mit der Medialis vor uns, die sich hier in zwei Hauptäste gabelt. Der Sector radii bestünde nur aus der Ader 3*a* mit wenigen dazugehörigen Endästchen und läge zwischen M_1 und M_2. Die Abzweigung des Sektor vom Radius müßte etwa im $^2/_3$ der Flügellänge zu suchen sein und wäre derart hoch spezialisiert, daß sie sich unbedingt in irgend welchen Anzeichen wie Nodus, schiefe Queradern oder dergleichen dokumentieren müßte. Wir sehen aber nichts von all dem und auf den von Sellards abgebildeten vier Flügeln der Gattung *Typus* ist nur an einer Stelle eine kleine schiefe Querader erhalten, die man eventuell ins Treffen führen könnte, wenn dergleichen schiefe Adern nicht auch sonst bei Libellenflügeln oft vorkämen.

Eine Entscheidung zwischen diesen fünf Alternativen, von denen ich die dritte als die aussichtsreichste bezeichnen möchte, ist erst möglich, wenn alle in den Museen aufbewahrten Originale neuerlich untersucht und genau gezeichnet sein werden.

Von sonstigen Charakteren der Protodonaten möchte ich hier nur wenige kurz erwähnen.

Ein Präcostalfeld ist meist vorhanden, oft sehr lang. Die Subcosta ist im Gegensatze zu den rezenten und fossilen echten Odonaten immer normal bis zur Flügelspitze erhalten und nie durch einen Nodus vorzeitig abgeschlossen. Ein Flügelmal ist nie vorhanden. Der Cubitus besteht immer aus dem einfachen von den Palaeodictyopteren übernommenen Vorderaste und aus dem mehrfach verzweigten Hinteraste. Die Analis ist nur bei den Protagrioniden noch in ursprünglicher Form vom Cubitus ganz unabhängig, aber sie bildet auch dort schon eine einzige Hauptader mit zahlreichen kammartig nach hinten ausgehenden Ästen. Bei den höher spezialisierten Typen tritt die Analis wie bei den echten Odonaten mit dem Cubitus in vorübergehende Verbindung, die durch eine schiefe queraderähnliche Brücke hergestellt wird. Ein Stück weit laufen Cu_2 und A_1 gemeinsam, dann erfolgt bald die Trennung. Ader 8 meiner schematischen Abbildung (Fig. 60) wäre Cu_1, Ader 9 und 10 Cu_2, Ader 11 das Ende der Analis. Teils gerade, teils gebrochene Schaltadern sind überall zwischen den zahlreichen Ästen zu sehen. Die Vorder- und Hinterflügel sind meist verschieden breit, bei einigen Formen sogar sehr verschieden. Die Körper waren relativ kräftig, die Beine bereits nach vorne gerichtet und die Flügelwurzeln am Rücken des Thorax bereits genähert, die Augen groß, aber nicht zusammenstoßend, die Mandibeln derb und nach vorne gerichtet. Von den 19 bisher gefundenen Formen stammen 14 aus dem mittleren, 2 aus dem oberen Obercarbon und 2 aus dem unteren Perm.

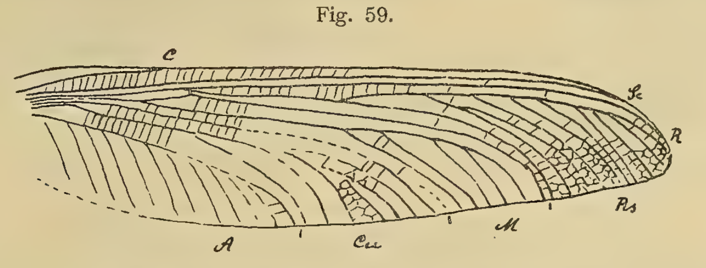
Fam. **Protagrionidae** Handl.

Eine neue sorgfältige Untersuchung des Originales ist unbedingt notwendig, denn sie wird zweifellos einige Merkmale ergeben, die aus Brongniarts Abbildung nicht mit Sicherheit zu entnehmen sind. Soviel ich aus der Zeichnung schließen kann, ist hier von einer Kreuzung der Adern noch nicht die

Rede. Radius mit Sector, Medialis und Cubitus sind noch auf der Stufe der Palaeodictyopteren, nur scheint sich der einfache lange Vorderast der Medialis der Sectorbasis derart zu nähern, daß es fast zu einem Anschlusse kommt. Die Analis ist noch ganz frei, lang und mit einer Reihe schief nach hinten entspringender Äste versehen. Ein kurzes Präcostalfeld und einige gebrochene Schaltsektoren sind zu erkennen. Es scheint, daß die Flügel schon mit der Basis einander nahegerückt waren.

Genus **Protagrion** Brongn. mit **Audouini** Brongn. aus Commentry (Fig. 59).

Fig. 59.

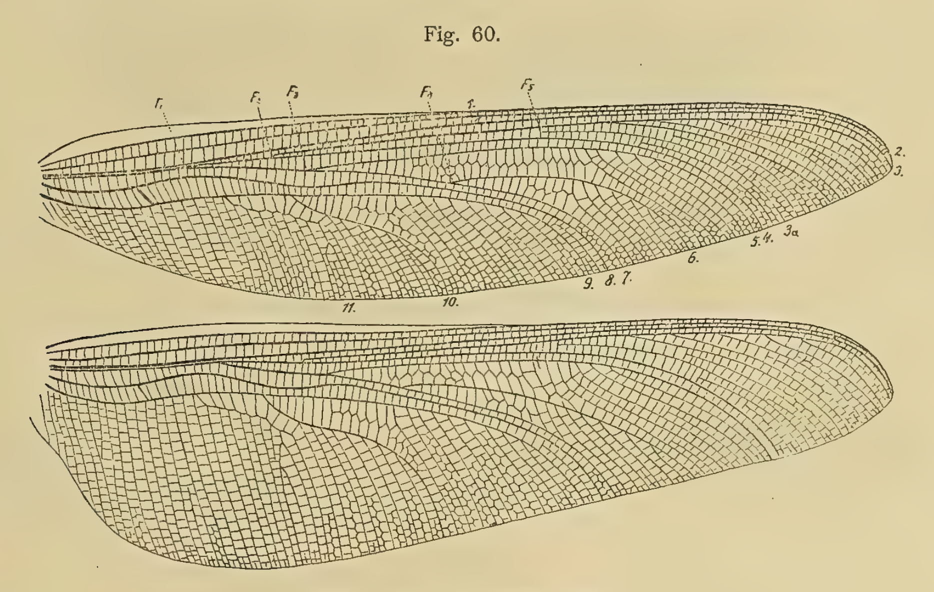


Protagrion Audouini Brongn. × 1 (schematisiert).

Fam. Meganeuridae Handl.

Die Flügel dieser oft riesigen Formen sind stets etwas ungleich, die hinteren im Basalteile, namentlich im Bereiche des Cubitus und der Analis verbreitert. Als charakteristisch betrachte ich die

Fig. 60.



Schema der Meganeuridenflügel.

oben erwähnten Bildungen, die aus der schematischen Abbildung (Fig. 60) zu entnehmen sind. Die Zahl der Längsaderäste und der Queradern ist stets eine beträchtliche und das Präcostalfeld erscheint gut entwickelt, etwa bis zur Mitte des Costalrandes ausgedehnt.

Genus Meganeura Brongn.

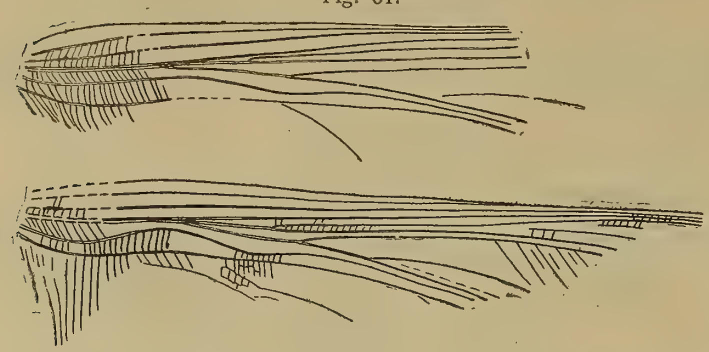
Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 142, f. 72 (ist durch diese Arbeit überholt und muß verbessert werden).

Die Riesen unter den fossilen Insekten! Sie erreichten eine Flügelspannweite bis zu etwa 70 *cm*. Hinterflügel wesentlich breiter als die Vorderflügel. Alle Arten aus Commentry.

Meganeura Monyi (Brongn.) Handl. (Fig. 61).

Meganeura Monyi Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3) XXI, 60, 1885 pp.
— — — Faune ent. terr. prim., 521, t. 41, f. 1 (nec 2—6!) 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins. 307, t. 32, f. 2, 1907.

Fig. 61.



Meganeura Monyi Brongn. 1/3.

Nach den Abbildungen zu schließen, gehört jedes der von Brongniart abgebildeten Fossilien zu einer eigenen Art. Ich betrachte jenes Exemplar, welches am vollständigsten erhalten ist, als Typus der Art.

Meganeura Brongniarti Handl. (Fig. 62).

Meganeura Monyi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 521, t. 41, f. 3, 1893.
— *Brongniarti* Handlirsch, Foss. Ins., 308, t. 32, f. 3, 1907.

Fig. 62.



Meganeura Brongniarti Handl. 1/3.

Meganeura Brongniartiana n. sp. (Fig. 63).

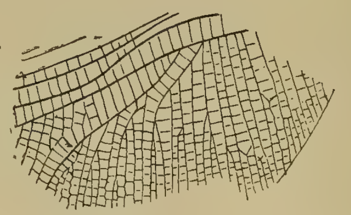
Meganeura Monyi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 521, t. 41, f. 2, 1893.
— *Brongniarti* Handlirsch, Foss. Ins., 308, 1907 pp.

Fig. 63.



Meganeura Brongniartiana n. sp. 1/3.

Fig. 64.



Meganeura Fafnir Handl. 1/2.

Vorausgesetzt, daß die Zeichnungen Brongniart's richtig sind, liegt ein wesentlicher Unterschied von Brongniarti in dem freien Teil der Analis nach Abtrennung vom Cubitus.

Meganeura Fafnir Handl. (Fig. 64).

Meganeura Monyi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 521, t. 41, f. 6, nec 5!, 1893.
— *Fafnir* Handlirsch, Foss. Ins., 308, t. 32, f. 4, 1907.

Man beachte den Winkel zwischen Cu 2 und 3 und den freien Teil der Analis.

Meganeura draco n. sp. (Fig. 65).

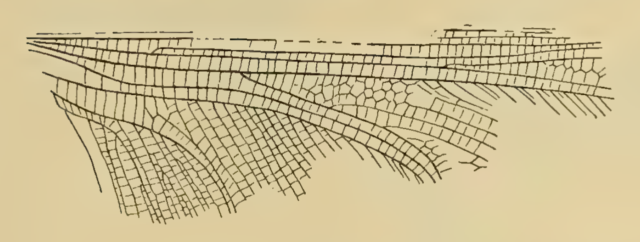
Meganeura Monyi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 521, t. 41, f. 5, 1893.
— *Fafnir* Handlirsch, Foss. Ins., 308, 1907 pp.

Cubitus 3 weniger reich verzweigt als bei *Fafnir*.

? Meganeura aeroplana n. sp. (Fig. 66).

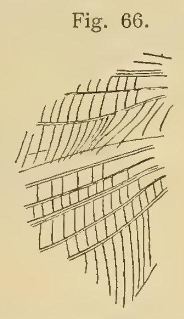
Meganeura Monyi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 521, t. 41, f. 4, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 308, 1907 pp.

Fig. 65.



Meganeura draco n. sp. $^1/_2$.

Fig. 66.



Meganeura aeroplana n. sp. $^1/_2$.

Nur die Basalteile eines Vorder- und Hinterflügels erhalten.

Genus **Meganeurula** Handl.

Von geringeren Dimensionen als *Meganeura* und offenbar auch sonst verschieden. Die Spannweite betrug etwa 29 *cm*, die Flügellänge 14 *cm*.

Ich bin nicht in der Lage, nach der photographischen Abbildung Brongniart's ein Bild des Geäders zu entwerfen und kann daher die schematische, in meinen Foss. Ins. reproduzierte Figur nicht auf ihre Richtigkeit nachprüfen. Jedenfalls läßt sich erkennen, daß das Geäder im ganzen jenem von *Meganeura* entspricht, aber anscheinend dichter und reichlicher verzweigt ist. Die Hinterflügel sind auffallend verbreitert.

Meganeurula Selysii Brongn. aus Commentry.

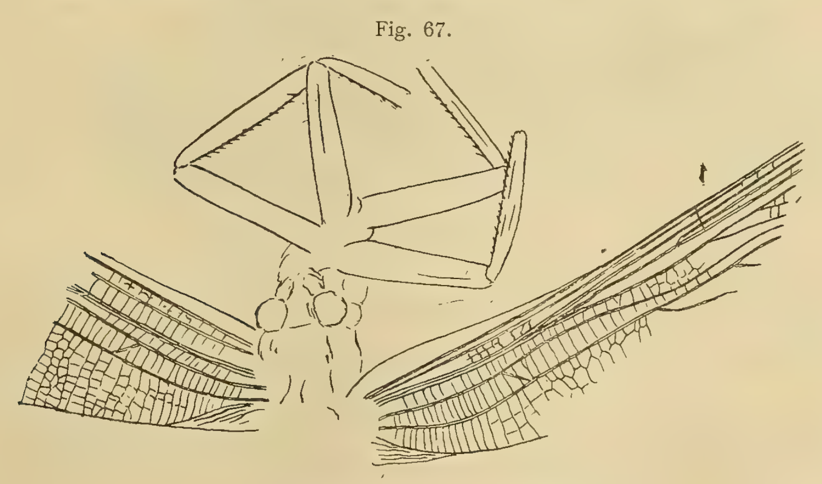
Genus **Meganeurella** n. g.

Ein großes Tier von etwa 60 *cm* Spannweite. Das Geäder stimmt, soweit es erhalten ist, mit jenem von *Meganeura* überein, doch scheint das Präcostalfeld viel kürzer zu sein und das Analfeld der Vorderflügel relativ schmal mit stark gebrochenen Adern. Die Brücke zwischen Cubitus und Analis ist deutlich zu sehen, ebenso die Kreuzung oder Verlötung an der Teilung von Radius und Medialis. Die Verzweigung von Cu 2 scheint anders zu sein als bei *Meganeura*. Auffallend kräftig entwickelt sind die Beine, deren Schenkel fast 9 *mm* breit erscheinen. Augen weit getrennt, stark gewölbt und groß. Mandibeln nach vorne gekehrt.

Meganeurella rapax n. sp. aus Commentry (Fig. 67).

Meganeura Monyi Meunier, Annal. Paleont., IV, 144, t. 3, f. 2, 1909.

Fig. 67.



Meganeurella rapax n. sp. Etwa $^1/_2$.

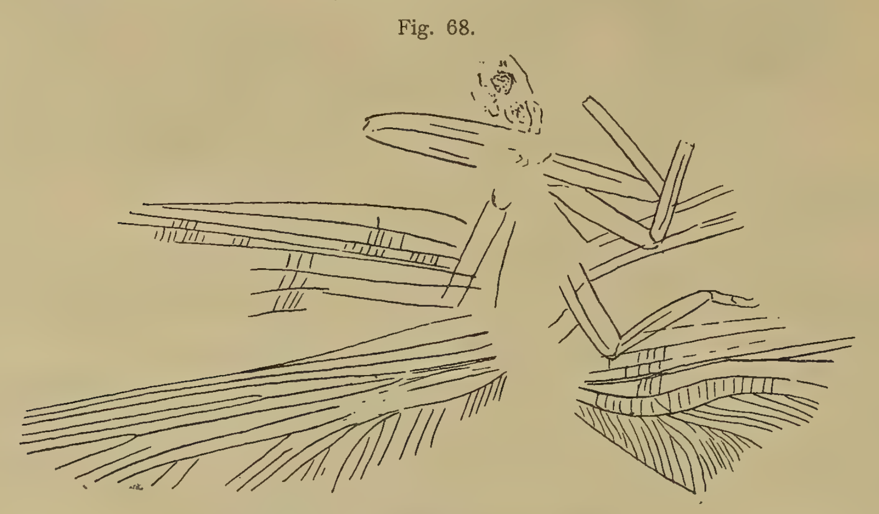
Genus Meganeurina n. gen.

Ein unvollständig erhaltenes Tier von bescheideneren Dimensionen. Die Länge der Flügel dürfte etwa 22 *cm* betragen haben. Im allgemeinen stimmt das Geäder mit *Meganeura* überein, doch scheint der Hinterflügel nur mäßig verbreitert gewesen zu sein, jedenfalls viel weniger als bei *Meganeurula*. Die Beine sind auch hier sehr kräftig.

Meganeurina confusa n. sp. aus Commentry (Fig. 68).

Meganeura Brongniarti Meunier, Annal. Paleont., IV, 144, t. 4, f. 1. 1909.

Fig. 68.



Meganeurina confusa n. sp. Etwa 1/2.

Man sieht an dissem Beispiel recht deutlich, mit welcher Willkür und Leichtfertigkeit Meunier bei seinen Deutungen zuwerke geht. Schon der Größenunterschied zwischen *Brongniarti* Handl. und seinem Fossil hätte ihn zur Vorsicht mahnen können.

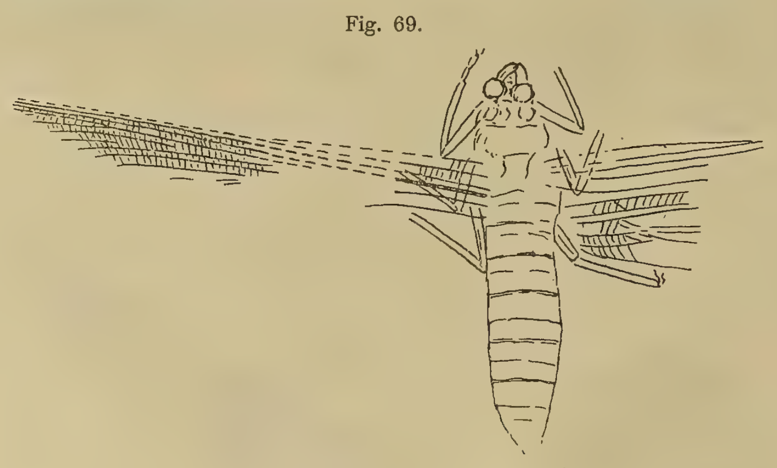
Genus Meganeurites n. gen.

Ein Tier mit etwa 13 bis 14 *cm* langen Flügeln, auffallend dickem Leib und relativ zarten Beinen. Das Präcostalfeld ist lang, der Hinterflügel anscheinend nicht stark verbreitert. Kopf ähnlich wie bei *Meganeurella*.

Meganeurites gracilipes n. sp. aus Commentry (Fig. 69).

Meganeurula Selysii Meunier, Annal. Paleont., IV, 144, t. 4, f. 2, 1909.

Fig. 69.



Meganeurites gracilipes n. sp. Etwa 1/2.

Bei *Meganeurula Selysii* Brongn. sind die Beine sehr kräftig, die Hinterflügel besonders stark verbreitert. Hier ist gerade das Gegenteil der Fall!

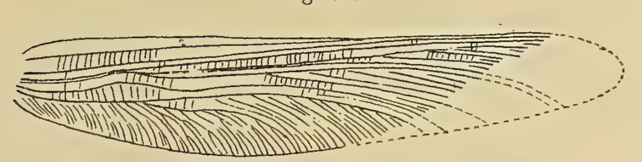
Genus Gilsonia Meunier.

Ein ? Vorderflügel von etwa 12 *cm* Länge mit sehr langem Präcostalfelde und meganeuraähnlichem Geäder. Die Abzweigung der Analis vom Cubitus scheint von dem bei *Meganeura* ausgebildeten Typus insoferne abzuweichen, als die Trennung gleichzeitig mit der Abzweigung von Cu 3 erfolgt. Fällt vielleicht mit *Meganeurula* zusammen.

Gilsonia titana Meunier aus Commentry (Fig. 70).

Gilsonia titana Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XV, 37, f. 1, 1909.
— — — Annal. Paleont., IV, 143, t. 3, f. 1, 1909.

Fig. 70.



Gilsonia Titana Meun. 2/3.

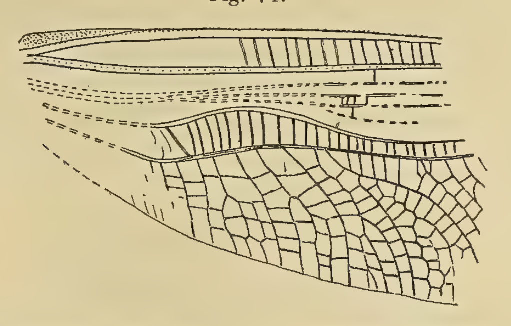
Genus Boltonites n. gen.

Präcostalfeld sehr klein. Cubitus und Analis in ähnlicher Weise ausgebildet wie bei den vorhergehenden Gattungen, die Brücke deutlich erhalten. Cu 3 und die Analis mit einer auffallend geringen Zahl von Ästen.

Boltonites radstockensis Bolton von den Radstock Coal Meas. in Sommerset, England. (Mittl. Obercarbon) (Fig. 71).

Meganeura radstockensis Bolton, Qu. Journ. Geol, Soc., LXX, 119, t. 18, 19, 1914.

Fig. 71.



Bollonites radstockensis Bolt. (Etwas verkleinert.)

Ich schätze die Flügellänge auf etwa 20 *cm* und danke Herrn Bolton für die freundliche Zusendung der Originalphotogramme, nach denen ich beigegebene Skizze anfertigen konnte. Ohne Zweifel handelt es sich um ein eigenes Genus, welches wohl zu den Meganeuriden gehören dürfte.

Höchst wahrscheinlich gehören zu den Meganeuriden auch noch:

Genus Palaeotherates Handl. mit **pensilvanicus** Handl. aus dem mittleren Obercarbon von Pennsylvanien.

Genus Ephemerites Geinitz mit **Rückerti** Gein. aus dem unteren Perm von Deutschland.

Fam. **Typidae** n. fam.

Unter den Insektenresten aus dem unteren Perm von Kansas ist eine schöne Protodonatenform, die im ganzen noch sehr an die Meganeuriden erinnert, aber doch in einigen Punkten so weit abweicht, daß die Errichtung einer eigenen Familie berechtigt erscheinen mag. Das Präcostalfeld ist sehr reduziert. Die Ablösung des ? Vorderastes der Medialis vom ? Sector radii, also die Gabelung, die ich in der schematischen Figur als F_2 bezeichnete, liegt viel weiter distal und der Hinterflügel erscheint nur unmerklich breiter als der Vorderflügel.

Über die Deutung des Geäders durch Sellards habe ich schon oben gesprochen.

Genus Typus Sellards.

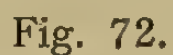
Typus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXII, 249, 1906.

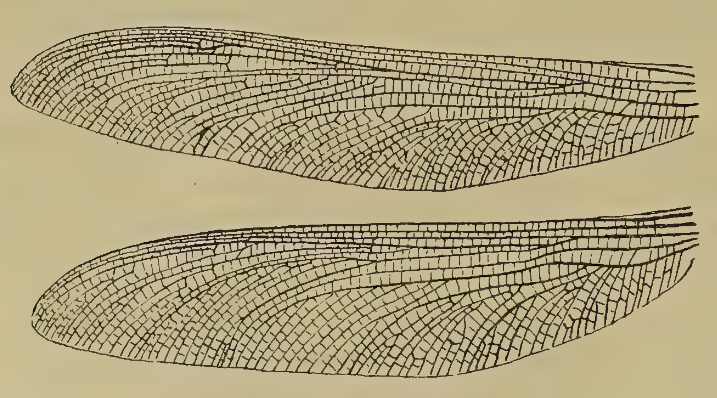
Typus Sellards, ibid., XXVII. 151, 1909.

Typus permianus Sellards (Fig. 72).

Typus permianus Sellards, Amer. Journ. Sc.. XXII, 249, f. 1, 2. 4, 5, 6. 1906.

Typus (*permianus*) Sellards. ibid., XXVII. 151, 1909.


Fig. 72.



Typus permianus Sell. (Etwas verkleinert.)

Fam. **Paralogidae** Handl.

Auch hier ist das Präcostalfeld reduziert und die Gabelung F_2 weit von der Basis abgerückt. Cu 2 und Cu 3 schließen infolge der starken Streckung der letzteren Ader ein sehr langes schmales Feld ein. Die Form des Flügels ist auffallend kurz und breit.

Genus Paralogus Scudder mit **aeschnoides** Scudder aus dem oberen Obercarbon von Rhode Island.

Genus Paralogopsis Handl. mit **longipes** Handl. vom Mazon Creek.

Paralogopsis longipes Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 374, f. 58, 1911.

Protodonata insectae sedis.

Genus **Schlechtendaliola** n. gen.

Schlechtendaliola nympha n. sp. aus dem oberen Obercarbon von Wettin.

»Flügelscheide« Schlechtendal i. l.

(*Protodonata*) sp. Handlirsch, Foss. Ins., 311, t. 31, f. 40, 1907.

Ich ziehe es vor, diesem Fossil, das ja sicher zu keiner der anderen Gattungen gehört, einen eigenen Genus- und Speziesnamen zu geben.

Ordo Protephemeroidea Handl.

In dieser Gruppe, die ich nach wie vor als Bindeglied zwischen Palaeodictyopteren und Plectopteren oder Ephemeriden betrachte und für vollkommen berechtigt ansehe, ist leider nichts Neues dazugekommen. Die einzige Art stammt aus dem mittleren Obercarbon.

Fam. **Triplosobidae** Handl.

Genus **Triplosoba** Handl. mit **pulchella** Brongn. aus Commentry.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Int. Ent. Brux., t. 8, f. 12. 1911, Handb. Ent. III, 139, f. 69.

Ordo Ephemerida Leach = Plectoptera.

Zahlreiche Perminsekten (16) lassen sich bereits zwanglos in diese moderne Ordnung einreihen. Sie zeigen uns, daß die Eintagsfliegen unserer Tage nur als kümmerliche Reste einer alten Reihe zu betrachten sind.

Fam. **Protereismidae** m.

Protereismephemeridae Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 345, 1907 pp.

Bei allen Formen waren Vorder- und Hinterflügel noch gleich groß und auch sonst recht ursprünglich gebaut. Alle bisher bekannten Arten stammen aus dem unteren Perm von Kansas. Über die Berechtigung der zahlreichen von Sellards errichteten Genera läßt sich streiten. Vermutlich gehören alle zusammen.

Genus **Protereisma** Sellards.

Protereisma permianum Sellards.

Protereisma permianum Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 348, f. 3, 4, 1907.

Protereisma minus Sellards.

Protereisma minus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 348, f. 9, 1907.

Protereisma latum Sellards.

Protereisma latum Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 349, 1907.

Genus **Protechma** Sellards.

Protechma acuminatum Sellards.

Protechma acuminatum Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 349, f. 8, 1907.

Genus Bantiska Sellards.

Bantiska elongata Sellards.

Bantiska elongata Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 349, f. 7, 1907.

Genus Prodromus Sellards.

Prodromus rectus Sellards.

Prodromus rectus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 349, f. 10, 1907.

Genus Recter Sellards.

Rekter Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 349, 1907.
Recter Sellards, ibid., XXVII, 151, 1909.

Recter arcuatus Sellards.

Rekter arcuatus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 349, f. 6, 1907.
Recter (*arcuatus*) Sellards, ibid., XXVII, 151, 1909.

?Recter extensus Sellards.

Rekter ? extensus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 351, f. 5, 1907.
Recter (*extensus*) Sellards, ibid., XXVII, 151, 1909.

Genus Misthodotes Sellards.

Dromeus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 351, 1907.
Misthodotes Sellards, ibid., XXVII, 151, 1909.

Misthodotes obtusus Sellards.

Dromeus obtusus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 351, 1907.
Misthodotes (*obtusus*) Sellards, ibid., XXVII, 151, 1909.

Genus Pinctodia Sellards.

Pinctodia curta Sellards.

Pinctodia curta Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 352, f. 11, 1907.

Genus Mecus Sellards.

Scopus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 352, 1907.
Mecus Sellards, ibid., XXVII, 151, 1909.

Mecus gracilis Sellards.

Scopus gracilis Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 352, f. 12, 1907.
Mecus (*gracilis*) Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 151, 1909.

Genus Esca Sellards.

Therates Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 354, 1907.
Esca Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 151, 1909.

Esca plana Sellards.

Therates planus Sellards, Amer. Journ. Sc., XXIII, 354, 1907.
Esca (*plana*) Sellards, Amer. Journ. Sc., XXVII, 151, 1909.

Plectoptera incertae sedis.

Genus Thnetus Handl. mit **Stuckenbergi** Handl. aus dem unteren Perm von Kasan in Rußland.

Genus Phthartus Handl. mit **Netschajevi** Handl. und **rossicus** Handl. aus dem unteren Perm von Orenburg.

Beides interessante, recht ursprüngliche Larven, die vielleicht zu Protereismiden gehören.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Int. Ent. Brux., t. 8, f. 13, 1911 und Handb. Ent., III, 140, f. 71.

Genus Dyadentomum Handl. mit **permense** Handl. aus dem unt. Perm des Gouv. Perm in Rußland

Gleichfalls wohl eine Larve.

Ordo Perlariae Latr. (= Plecoptera).

In diese bis zur Gegenwart erhaltene Ordnung rechne ich, mit Vorbehalt allerdings, zwei Formen aus der unt. Permformation. Bei beiden ist das Geäder durch Übereinanderlagerung der Flügel verworren und nicht mit wünschenswerter Vollständigkeit zu entziffern.

Genus Dyadozoarium Handl. mit **pachypus** Handl. aus Orenburg.

Genus Chalcorychus Handl.

Chalcorychus walchiae Handl. aus Kargala.

Chalcorychus walchiae Handlirsch, Mitt. Geol. Ges. Wien, II, 382, f. 1, 2, 1909.

Ordo Diaphanopteroidea n. ord.

Zwei Fossilien aus dem mittleren Obercarbon, die ich im Anschlusse an Brongniart in meinen Foss. Ins. noch in der Ordnung *Megasecoptera* untergebracht hatte, scheinen doch einer eigenen, möglicherweise auf dieselbe Wurzel zurückgehenden Gruppe anzugehören, denn eine von Meunier beschriebene Form, die anscheinend mit den beiden früher bekannten in naher Beziehung steht, lehrt uns, daß die Flügel über das Abdomen zurücklegbar waren und daß an dem Hinterflügel ein, wenn auch kleines Analfeld abgeschieden war. Auch sind die Flügel nicht in der für Megasecopteren so charakteristischen Weise gegen die Basis zu stark verschmälert. Das Geäder läßt noch die ursprünglichen Palaeodictyopterencharaktere deutlich erkennen, beginnt sich aber durch Anlagerung des isolierten Vorderastes der Medialis an den Radius, beziehungsweise des Cubitus an die Medialis in ähnlicher Weise zu spezialisieren, wie es bei vielen Megasecopteren der Fall ist.

Fam. Diaphanopteridae Handl.

Die Subcosta ist stark verkürzt, die Anlagerung der erwähnten Vorderäste der Medialis und des Cubitus an die entsprechenden vorhergehenden Adern vollkommen durchgeführt. Die Zahl der Queradern scheint beschränkt zu sein. Es ist nur ein ganzer und ein halber Flügel bekannt, so daß ich seinerzeit keinen Anlaß fand, diese Objekte von den Megasecopteren zu trennen.

Genus Diaphanoptera Brongn.

Mit **Munieri** Brongn. und **vetusta** Brongn. aus Commentry.

Fam. Diaphanopteritidae n. fam.

Das neue von Meunier als *Diaphanoptera* beschriebene Fossil aus Commentry ist ziemlich vollständig erhalten und zeigt die Andeutung eines schlanken Leibes mit kurzem Prothorax und relativ großem Kopf. Die vier schlanken Flügel sind fast gleich groß, aber leider derart übereinandergelagert, daß ich aus dem Photogramm nicht alle nötigen Details entnehmen kann. Immerhin glaube ich doch

sicher erkennen zu konnen, daß die Subcosta, wenigstens an den Hinterflügeln, erst knapp vor deren Ende in den Radius mündet, daß der Anschluß der Vorderäste der Medialis und des Cubitus an die davor liegende Ader noch nicht vollkommen durchgeführt und das Analfeld der Hinterflügel etwas erweitert und abgetrennt ist. Auch scheinen die Queradern zahlreicher zu sein. Flecken ähnlich wie bei *Diaphanoptera.*

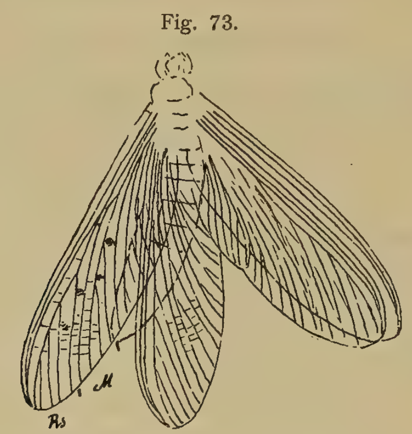
Genus **Diaphanopterites** n. gen.

Diaphanopterites superbus Meunier (Fig. 73).

Diaphanoptera superba Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 155, 1908.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 173, 1908.
— — — Ann. Paleont., IV, 141, f. 12, t. 2, f. 4, 1909.

Meunier gibt im Texte die Flügellänge mit 54 *mm* an, aber die photographische Abbildung in »Grand. nat.« mißt nur 42 *mm.* Die schematische Abbildung Meuniers ist so wie die Beschreibung

Fig. 73.



Diaphanopterites superbus Meun. × 1.

vollkommen wertlos und zeigt ganz unmögliche Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterflügel und eine Verschmälerung der Flügel gegen die Basis, von deren Unrichtigkeit sich jeder leicht durch Vergleich des Photogrammes überzeugen kann.

Ordo Megasecoptera (Brongn.) Handl.

Durch Ausscheidung der Diaphanopteroiden und Einfügung der Brodiiden, welche ich früher noch bei den Palaeodictyopteren untergebracht hatte, sowie durch die Teilung mancher Brongniart'scher Sammelarten tritt nun diese Ordnung deutlicher hervor. Woher sie stammt, ist klar zu erweisen, denn so mancher ursprüngliche Zug weist direkt auf die Palaeodictyopterenahnen. Schwieriger ist es zu ermitteln, ob überhaupt rezente Formen und welche aus Megasecopteren hervorgegangen sind. Ich muß gestehen, daß ich heute in dieser Beziehung nicht klarer sehe als vor zehn Jahren, denn was ich damals als Anklang an die große Reihe der Panorpaten (+ Dipteren und Lepidopteren) bezeichnete, kann noch immer nicht durch Belege erhärtet werden und bleibt nach wie vor eine Vermutung. Das darf uns aber nicht wundern, wenn wir bedenken, daß die Megasecopteren — wie durch die Auffindung von Larvenformen erwiesen ist — heterometabole Tiere waren, während die erwähnten rezenten Ordnungen durchwegs zu den holometabolen gehören. Durch die jedenfalls im Perm erfolgte Erwerbung der Holometabolie mögen die recht tiefgreifenden Unterschiede wohl eine Erklärung finden, aber so lange wir keine Übergangsglieder kennen, bleibt die Sache sehr hypothetisch. Bisher 47 Formen aus dem mittleren Obercarbon.

Fam. **Foririidae** n. fam.

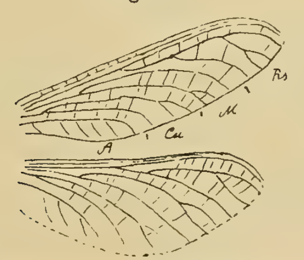
Die Hinterflügel sind etwas kürzer und namentlich in der Mitte breiter als die Vorderflügel, haben aber weder einen besonders vergrößerten noch einen faltbaren oder abgegrenzten Analteil und sind keineswegs so geformt, wie es Meunier in seiner schematischen Abbildung darstellt. Namentlich an den Vorderflügeln sieht man deutlich die für Megasecopteren typische Form mit der stark verschmälerten Basis. Der Sector bildet nur zwei Äste. Die Media bildet eine große Gabel, deren Äste frei bleiben und weder mit dem Sector noch mit dem Cubitus in nähere Beziehung treten und höchstens eine kleine Endgabel bilden. Ganz ähnlich ist der Cubitus gebildet. Die Analis ist eine einfache gebogene Ader mit einigen schief nach hinten auslaufenden Ästen. Queradern noch in ziemlicher Anzahl vorhanden. Subcosta anscheinend ziemlich lang. Die Zeichnung besteht aus mehreren breiten wellig begrenzten Querbinden, ähnlich wie bei den Brodiiden.

Genus **Foriria** Meunier.

Foriria maculata Meunier aus Commentry (Fig. 74).

Foriria maculata Meunier, Ann. Soc. Sc., XXXII, 155, 1908.
— — — Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 172, f. 1, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 140, t. 1, f. 6, 1909.

Fig. 74.



Foriria maculata Meun. ×1.

Auch hier ist die Frage zu lösen, ob Meunier's Angabe im Text, wonach das Fossil 50 *mm* lange Flügel besitzt, richtig ist oder die photographische Abbildung in »Grand. nat.« mit 38 *mm*!

Fam. **Corydaloididae** Handl.

Corydaloididae Handlirsch, Foss. Ins., 314, 1907 pp.

Durch Ausscheidung der Gattung *Aspidothorax*, die ich in den Foss. Ins. noch mit *Corydaloides* vereinigt hatte, läßt sich die Familie besser charakterisieren. Der Raum zwischen Radius und Sector ist breit und enthält einige lange geschwungene Queradern. Sowohl die Medialis als der Cubitus schließen sich mit ihrem einfachen Vorderaste eine Strecke weit der davor liegenden Ader an. Queradern in sehr geringer Zahl. Alle Arten aus Commentry.

Genus **Corydaloides** Brongn.

Prothorax mit Zacken an der Seite; Meso- und Metathorax auffallend breit; Abdominalsegmente mit abgerundeten Seitenlappen, die in einige Zacken auslaufen.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 171, f. 127.

Corydaloides Scudderi Brongn. (Fig. 75).

Corydaloides Scudderi Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3), XXI, t. 64, f. 3, 1885.
— — Brauer, Ann. Hofmus. Wien, I, 106, 1886.
— — Brongniart, Faune ent. terr. prim., 425, t. 32, f. 6, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 314, t. 32, f. 10, 1907 pp.

Als Typus dieser Art betrachte ich das 1885 und 1893 als Fig. 6 abgebildete Exemplar. Meine Fig. 16 der Taf. 32 ist eine Kombination von mehreren nicht zusammengehörigen Abbildungen

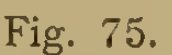
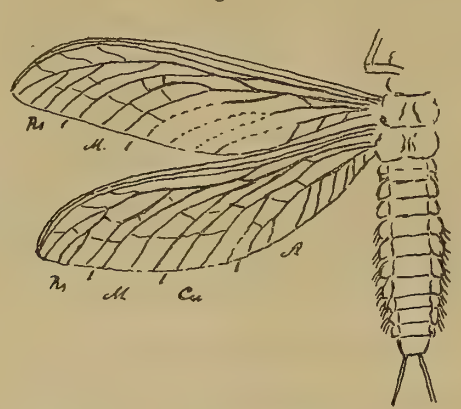


Fig. 75.



Corydaloides Scudderi Brongniart ×1.

Brongniart's und daher falsch. Bei dieser Art hat der Sector im Vorderflügel drei einfache Äste, im Hinterflügel einen einfachen und einen gegabelten. Medialis und Cubitus bestehen je aus einem gegabelten hinteren Aste und einem einfachen Vorderaste.

Corydaloides Brongniarti n. sp. (Fig. 76).

Corydaloides Scudderi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 425, t. 32, f. 7, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 314, t. 32, f. 10, 1907 pp.

Der Sector radii hat in beiden Flügeln nur zwei Äste. Medialis 2 ist gegabelt, Cubitalis 2 einfach. Auch die Form der Flügel scheint von *Scudderi* etwas abzuweichen.

Corydaloides longipennis n. sp. (Fig. 77).

Cor daloides Scudderi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 425, t. 32, f. 10, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 314, 1907 pp.

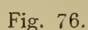
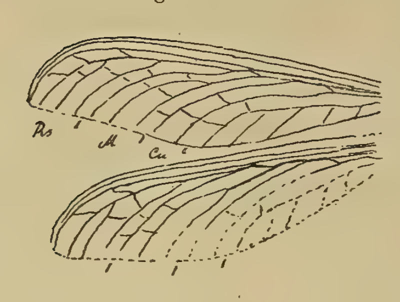
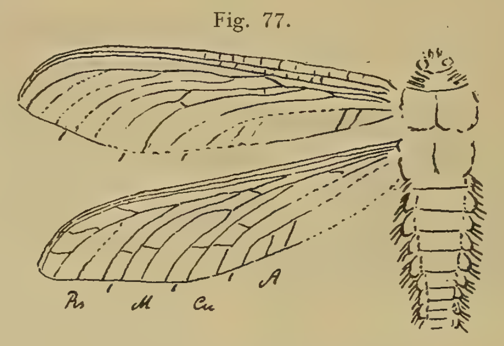


Fig. 76.



Corydaloides Brongniarti n. sp. × 1

Fig. 77.



Corydaloides longipennis n. sp. × 1.

Durch die wesentlich schlankeren Flügel von den beiden vorhergehenden Arten verschieden. Sector mit je 2 Ästen. Hinterast der Medialis in beiden Flügeln gegabelt, Hinterast des Cubitus einfach.

Corydaloides sp.

Corydaloides Scudderi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 425, t. 32, f. 11, 12, 13, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 314, 1907 pp.

Diese Exemplare sind zu unvollständig. Ich kann nicht feststellen, ob sie zu einer der oben genannten Arten gehören oder eigene Arten repräsentieren.

Genus Corydaliodes n. gen.

Abgesehen von dem Körper, der hier schmäler zu sein scheint als bei *Corydaloides* und anscheinend der zackigen Anhänge des Prothorax und Hinterteiles entbehrt, scheint mir auch ein wesentlicher Unterschied im Geäder vorzuliegen. Die Medialis schließt sich ein Stück weit an den Sektor an und teilt sich erst nach der Trennung in zwei Äste. Der Cubitus bildet eine lange Gabel, deren vorderer Ast sich ein Stück weit dem Stamme der Medialis anschmiegt.

Corydaliodes simplex Brongn. (Fig. 78).

Corydaloides simplex Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 32, f. 8, 1893.
? *Corydaloides simplex* Handlirsch, Foss. Ins., 315, t. 32, f. 11, 1907.

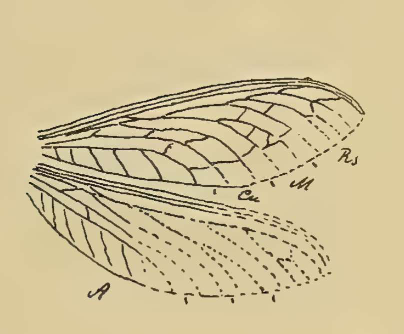
Sector radii mit 2 Ästen, von denen der distale gegabelt ist.

Corydaliodes gracilior n. sp. (Fig. 79).

Corydaloides simplex Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 32, f. 9, 1893.
? — — Handlirsch, Foss. Ins., 315, t. 32, f. 12, 1907.

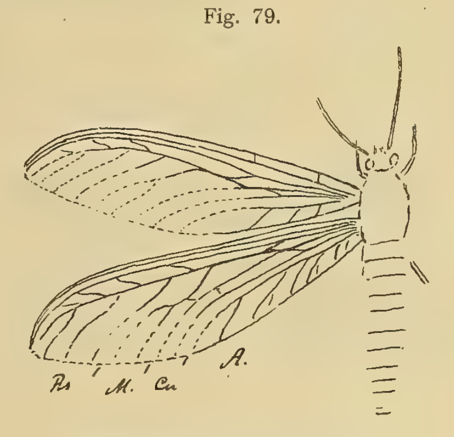


Fig. 78.



Corydaliodes simplex Brongn. × 1.

Fig. 79.



Corydaliodes gracilior n. sp. × 1.

Sector mit 3 Ästen. Flügel entschieden schlanker als bei *simplex*.

Corydaloides gracilis Brongn., Bull. Soc. Rouen (3) XXI, 64, 1885, ist ein nomen nudum.

Fam. Aspidothoracidae n. fam.

Corydaloididae Handlirsch, Foss. Ins., 314, 1907 pp.

Zwischen Sector und Radius nur ein normaler Raum mit kurzen einfachen Queradern. Medialis und Cubitus laufen von der Basis aus ein Stück weit eng an den Radius geschmiegt; ihre einfachen Vorderäste treten nur durch Queradern mit den davor liegenden Adern in Verbindung, bleiben aber sonst frei. Flügel sehr schlank mit schmaler Basis und ziemlich vielen Queradern. Körper ziemlich kurz, der Prothorax breit, fast dreieckig. Beine kurz, Hinterleibsringe mit eckigen abgegrenzten Pleurenplatten aber ohne zackige Anhänge. Aus Commentry.

Genus Aspidothorax Brongn.

Aspidothorax triangularis Brongn. (Fig. 80).

Aspidothorax triangularis Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3), XXI, 63, 1885.
— — — Faune ent. terr. prim., 428, t. 33, f. 5, 6, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 315, 1907 pp.

Sector ziemlich nahe der Basis entspringend, mit nur 2 Ästen; Medialis mit langem einfachen Vorderast und gegabeltem Hinterast; Cubitus mit nur 2 einfachen Ästen; Analis fast gerade, mit einigen schiefen Ästchen.

Fig. 80.

Aspidothorax triangularis Brongn. × 1·7.

Aspidothorax nanus n. sp. (Fig. 81).

Aspidothorax triangularis Brongniart, Faune ent. terr. prim., 428, t. 33, f. 4, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 315, t. 32, f. 13, 1907.

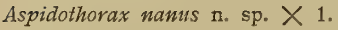
Die Abbildung Brongniart's, auf welche ich leider angewiesen bin, zeigt etwas unklare Verhältnisse, läßt aber erkennen, daß das Geäder in einigen Details von *triangularis* abweicht.

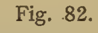
Aspidothorax maculatus Brongn. (Fig. 82).

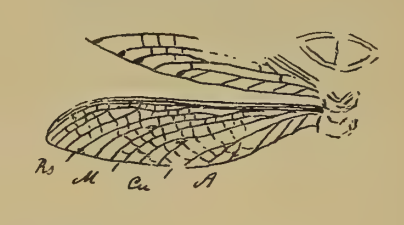
Aspidothorax maculatus Brongniart, Faune ent. terr. prim., 429, t. 33, f. 7, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 315, t. 32. f. 14, 1907.

Fig. 81.




Aspidothorax nanus n. sp. × 1.


Fig. 82.



Aspidothorax maculatus Brongn. × 1.

? Aspidothorax dubius n. sp.

Aspidothorax maculatus Brongniart, Faune ent. terr. prim., 429, t. 33, f. 8, 1893.
? — sp. Handlirsch, Foss. Ins., 315, 1907.

Diese Form gehört wohl sicher nicht zu *maculatus* und vielleicht überhaupt in eine andere Gattung. Die Zeichnung ist zu verworren.

? Fam. Campylopteridae Handl.

Genus **Campyloptera** Brongn. mit **Eatoni** Brongn. aus Commentry,

welche Brongniart für eine *Protodonate* gehalten hat, ist nach wie vor zweifelhaft und muß noch einmal genau untersucht werden.

Fam. Mischopteridae Handl.

Es scheint, daß bei allen Formen dieser Gruppe eine Anlagerung der Medialis an den Radius stattfindet, während der Cubitus frei bleibt. Auch dürfte die vorübergehende Verbindung des ersten Astes der Medialis mit dem Sector ganz regelmäßig vorhanden sein. Alle Flügel sind gegen die Basis sehr stark verschmälert.

Nur aus Commentry bekannt.

Genus Mischoptera Brongn.

Brongniart hat offenfar eine Reihe verschiedener Arten vor sich gehabt, die nach den Abbildungen nicht ganz leicht zu scheiden sind. Ich will es aber doch versuchen, um eine Klärung der Systematik und der Nomenklatur wenigstens in die Wege zu leiten und eine neue genaue Untersuchung der Originale anzuregen.

Rekonstruktion: Handlirsch, Congr. Int. Ent. Brux., t. 9, f. 14, 1911, et. Handb. Ent., III, 172, f. 128.

Mischoptera Woodwardi Brongn.

Mischoptera Woodwardi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 408, t. 29, f. 1, t. 30, f. 3, 4, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 317, t. 33, f. 1, 1907 pp.

Die beiden zitierten Abbildungen beziehen sich auf das gleiche Exemplar, während meine Abbildung im Handbuch als Rekonstruktion zu betrachten ist und nun nach Aufteilung auf keine bestimmte Spezies bezogen werden kann.

Mischoptera concolor n. sp.

Mischoptera Woodwardi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 408, t. 29, f. 2, t. 30, f. 5, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins. 317, 1907 pp.

Die bei *Woodwardi* vorhandenen kleinen lichten Tüpfel scheinen hier zu fehlen. Die Flügel sind stärker geschweift und die Queradern treten mehr hervor.

Mischoptera ocellata n. sp.

Mischoptera Woodwardi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 408, t. 29, f. 4, t. 30, f. 6, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 317, 1907 pp.

Ähnlich gefärbt wie *Woodwardi*, aber die Tüpfel an anderen Stellen. Flügel an den Adern lichter, in den Zellen verdunkelt.

Mischoptera infumata n. sp.

Mischoptera Woodwardi Brongniart, Faune ent. terr. prim., 408, t. 29, f. 5, t. 30, f. 7, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 317, 1907 pp.

Hier sind gerade die Adern beraucht, die Mitte der Zellen licht. Tüpfel scheinen zu fehlen.

Mischoptera nigra Brongn.

Woodwardia nigra Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3), XXI, 64, t. 4, f. 1, 1885.
— — Brauer, Ann. Hofmus. Wien, I, 105, t. 2, f. 12, 1886.
Mischoptera nigra Brongniart, Faune ent. terr. prim., 409, t. 29, f. 3, t. 30, f. 1, 2, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 317, t. 33, f. 2, 1907.

Hat die ganze Flügelfläche gleichfärbig dunkel, aber deutliche Tüpfel.

Mischoptera sp.?

Mischoptera Woodwardi Brongniart, Faune ent. terr. prim., t. 29, f. 6, 7, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 317, 1907 pp.

Zwei Fragmente, bei denen die Adern wie bei *infumata* beraucht sind. Vielleicht stammen sie von dem gleichen Objekte.

Mischoptera modesta Brongn.

Woodwardia modesta Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3), XXI, 64, 1885.

Ist ein nomen nudum und jedenfalls mit einer der vorigen Arten identisch.

Genus Psilothorax Brongn.

Durch den unbewehrten Prothorax und die aus Augenflecken bestehende Flügelzeichnung von *Mischoptera* verschieden.

Psilothorax longicauda Brongn.

Psilothorax longicauda Brongniart, Bull. Soc. Rouen (3) XXI, 64, 1885.
— — — Faune ent. terr. prim., 411, t. 29, f. 8, t. 31, f. 1, t. 29, f. 9, t. 31, f. 3, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 318, t. 32, f. 16, 1907 pp.

Die zitierten Abbildungen beziehen sich auf ein und dasselbe Exemplar.

Psilothorax pictus n. sp.

Psilothorax longicauda Brongniart, Fauae ent. terr. prim., 411, t. 29, f. 12, t. 31, f. 4, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 318, 1907 pp.

? Psilothorax sp.

Psilothorax longicauda Brongniart. Faune ent. terr. prim., 411, t. 29, f. 10, 11, t. 31, f. 2, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 318. 1907 pp.

Sehr gut erhaltene lange Cerci, die nicht unbedingt zu *Psilothorax* gehören müssen.

Genus Sphecoptera Brongn.

Cycloscelis et Sphecoptera Brongniart, Faune ent. terr. prim., 413, 417, 1893.

Ich ziehe es vor, diese beiden Gattungen zu vereinigen, denn der einzige Unterschied scheint in der verschiedenen Breite der Flügel zu liegen.

Sphecoptera Chatini Brongn.

Cycloscelis Chatini Brongniart, Faune ent. terr. prim., 413, 1893 pp.
— *maculata* Brongniart, ibid., t. 32, f. 1, 1893.
— *Chatini* Handlirsch, Foss. Ins., 318, t. 33, f. 5, 1907.

Sphecoptera Brongniartiana n. sp.

Cycloscelis Chatini Brongniart, Faune ent. terr. prim., 413, 1893 pp.
— *maculata* Brongniart, ibid., t. 32, f. 2, 1893.
— *Chatini* Handlirsch, Foss. Ins., 318, t. 33, f. 4, 1907.

Sphecoptera fenestrata n. sp.

Cycloscelis Chatini Brongniart, Faune ent. terr. prim., 413, 1893 pp.
— *maculata* Brongniart, ibid., t. 32, f. 3, 1893.
— *Chatini* Handlirsch, Foss. Ins., 318, t. 33, f. 3, 1907.

Sphecoptera minor Brongn.

Sphecoptera obscura Brongn.

Sphecoptera acuta Brongn.

Sphecoptera gracilis Brongn.

Sphecoptera gracilis Brongniart, Faune ent. terr. prim., 417, t. 31, f. 5, 6, ? 7, 1893.
— — Handlirsch, Foss. Ins., 319, t. 33, f. 9, 1907.

Die drei von Brongn. abgebildeten Exemplare gehören vielleicht nicht zusammen.

Sphecoptera pulchra Brongn.

Sphecoptera pulchra Brongniart, Faune ent. terr. prim.; 417, t. 33, f. 1, 2, 1893.
? — — Handlirsch, Foss. Ins., 319, t. 33, f. 10, 1907.

? **Sphecoptera distincta** Meunier.

Sphecoptera distincta Meunier, Ann. Soc. Sc. Brux., XXXII, 1908.

Sphecoptera Brongniarti Meunier.

Sphecoptera Brongniarti Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 248, f. 4, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 142, t. 2, f. 6, 1909.

Sphecoptera elegantissima Meunier.

Cycloscelis elegantissima Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XIV, 249, f. 5, 1908.
— — — Annal. Paleont., IV, 142, t. 2. f. 5, 1909.

? Genus Ischnoptilus Brongn. mit **elegans** Brongn.

Fam. **Rhaphidiopsidae** Handl.

Erinnert durch die ungleichen Flügel an *Foriria.*

Genus Rhaphidiopsis Scudder mit **diversipenna** Scudder aus dem mittleren Obercarbon von Rhode Island.

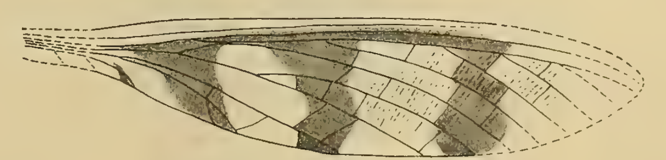
Fam. **Brodiidae** Handl.

Durch die Untersuchung des Originales und anderer Objekte im Brit. Museum bin ich zu der Überzeugung gekommen, daß diese Familie nicht, wie ich seinerzeit annahm, zu den Palaeodictyopteren, sondern sicher zu den Megasecopteren gehört. Die Flügel sind an der Basis sehr stark verschmälert, auffallend gestielt und haben durchwegs ein sehr stark reduziertes Analfeld mit einer einzigen Ader, die höchstens einige ganz kleine Ästchen nach hinten sendet. Der Sector radii bildet 3 oder 4 einfache Äste. Die an der Basis freie Medialis bildet einen einfachen langen Vorderast, der nur nahe an den Sector herantritt, ohne ihn zu berühren, und einen gegabelten Hinterast. Der gleichfalls freie Cubitus bildet eine Gabel, deren hinterer Ast manchmal eine kleine Endgabel bildet. Bei den meisten Arten sehe ich deutlich weit auseinandergerückte Queradern und außerdem feine Querstriche dicht aneinandergereiht. Alle Arten haben dunkle Querbinden der verschiedensten Form. Es sind durchaus einzelne Flügel vorhanden, so daß man nicht feststellen kann, welchem Paare sie angehören. Alle aus dem mittleren Obercarbon von England.

Genus Brodia Scudder.

Brodia priscotincta Scudder (Fig. 83).

Fig. 83.



Brodia priscotincta Scudder × 1·5.

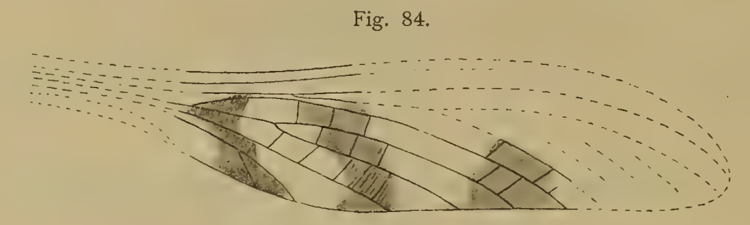
Meine Abbildung ist nach dem Originalexemplare zu Scudder's erster Beschreibung und Abbildung gemacht. Es trägt (Druck- und Gegendruck!) im Britischen Museum die Bezeichnung

Coal Meas. Dudley. Die dunklen Binden sind auf beiden Abdrücken gleich, also jedenfalls richtig gezeichnet. Die Länge betrug etwa 48 *mm*. Der Sector hat jedenfalls vier einfache Äste gehabt. Wir können die Arten am leichtesten charakterisieren, wenn wir, von der Basis ausgehend, die Reihenfolge gewisser markanter Punkte feststellen. So hätten wir hier: 1. Gabelung des Cubitus, Ende der Analis, 1. Gabelung der Medialis, Gabelung des Radius, Ende des Cu_2. 2. Gabelung der Medialis, 1. Gabelung des Sector, Ende von Cu_1.

Brodia Scudderi n. sp. (Fig. 84).

Ein Exemplar (Druck und Gegendruck) im Brit. Mus. mit Nummer J. 13879 und der Bezeichnung Coal Meas. Coseley Staff. Leider nur die mittlere Partie erhalten, die uns doch erkennen läßt,

Fig. 84.



Brodia Scudderi n. sp. × 1·5.

daß der Flügel mehr geschwungen war als jener von *priscotincta*. Das Fragment ist 36 *mm* lang und dürfte einem Flügel von etwa 60 *mm* Länge entsprechen. Die Reihenfolge der Punkte ist: 1. Gabelung des Cubitus, Ende der Analis, 1. Gabelung der Medialis, 2. Gabelung der Medialis, Gabelung des Radius, Ende von Cu_2, Ende von Cu_1, Gabelung des Sector.

Brodia petiolata n. sp. (Fig. 85).

Ein Exemplar im Brit. Mus. mit der Nummer J. 2961 aus »Upper Carbon. Coal. Meas. Tipton.« als *Brodia priscotincta* bestimmt. Die Reihe der Punkte ist hier: Gabelung des Radius, 1. Gabelung

Fig. 85.



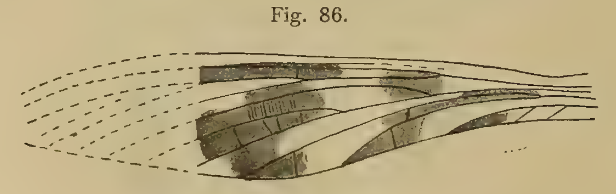
Brodia petiolata n. sp. × 1·5.

des Cubitus und gleichzeitig Ende der Analis, 1. Gabelung der Medialis, Ende von Cu_2 und 2. Gabelung der Medialis, 1. Gabelung des Sector, Ende von Cu_1.

Die Binden haben die Tendenz, sich in Flecken aufzulösen. Der erhaltene Teil mißt 41 *mm*, was etwa einer Flügellänge von 54 *mm* entsprechen dürfte.

Brodia pictipennis n. sp. (Fig. 86).

Fig. 86.



Brodia pictipennis n. sp. × 1·5.

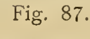
Ein Exemplar im Brit. Mus. mit der gleichen Nummer, Provenienz und Bestimmung wie *petiolata*. Die Reihenfolge der Punkte ist anders: 1. Gabelung des Cubitus, viel weiter und nahezu gleichzeitig

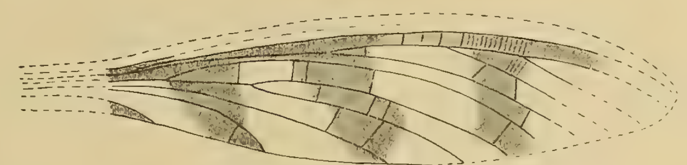
Gabelung des Radius und Ende der Analis, nahe daran 1. Gabelung der Medialis, 2. Gabelung der Medialis und Ende von Cu_2, 1. Gabelung des Sector, Ende von Cu_1.

Binden grell, stellenweise in Flecken aufgelöst. Länge des erhaltenen Teiles 36 *mm*, vermutliche Länge des Flügels 52 *mm*.

Brodia fasciata n. sp. (Fig. 87).

Drei Exemplare im Brit. Mus. mit der Bezeichnung J. 1557. Coseley, *Brodia priscotincta* Sedgely. Ich bilde das eine davon Nr. 1, welches in der Schausammlung steht, ab. Es hat drei deutliche Binden


Fig. 87.



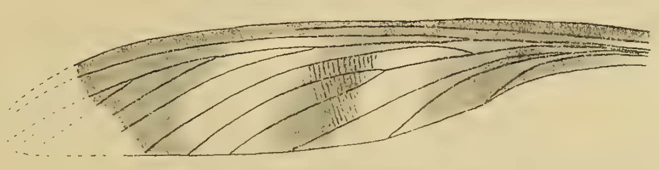
Brodia fasciata n. sp. × 1·5.

und einen dunklen Vorderrand. Die Länge dürfte 51 *mm* betragen haben, wovon das Mittelstück mit 38 *mm* erhalten ist. Die Punkte folgen in der Reihe: 1. Gabelung des Cubitus, Gabelung des Radius, Ende der Analis, 1. Gabel der Medialis, 2. Gabel der Medialis, Ende von Cu_2, 1. Gabelung des Sector, Ende von Cu_1.

Brodia nebulosa (Fig. 88).

Ein Exemplar im Brit. Mus. mit der Bezeichnung: »Rep. Nr. 2961. Upper Carbonif. Coal Meas. Tipton» als *Brodia priscotincta* bestimmt. Ich kann an diesem schönen, nahezu vollständig erhaltenen Flügel keine starken Queradern unterscheiden, sondern nur die zarten, dichten Querlinien. Die Binden

Fig. 88.



Brodia nebulosa n. sp. × 1·5.

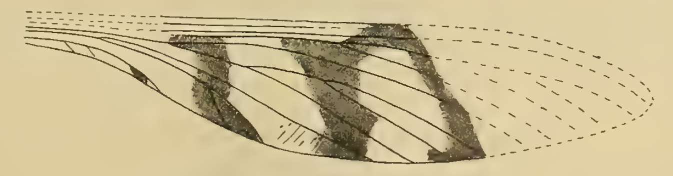
sind unscharf und fließen an der Basis und am Vorderrande zusammen. Die Reihe der Punkte ist: Gabel des Cubitus, Ende der Analis, 1. Gabel der Medialis und Gabel des Radius, Ende von Cu_2, 2. Gabel der Medialis, 1. Gabelung des Sector, Ende von Cu_1. Der erhaltene Teil mißt 58 *mm*, der ganze Flügel etwa 66 *mm*.

Brodia furcata n. sp. (Fig. 89).

Ein Exemplar im Brit. Mus. mit der Bezeichnung: »J. 2962. Upper Carbon. Coal Meas. near Dudley. *Brodia priscotincta*«.

Im Gegensatze zu allen anderen Arten zerfällt hier der hintere Ast der Medialis in einen vorderen gegabelten und hinteren einfachen Ast. Auch Cu_2 ist deutlich gegabelt. Die Binden sind gut begrenzt

Fig. 89.



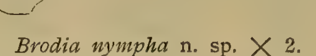
Brodia furcata n. sp. × 1·5.

und am Vorderrande verbunden. Die Reihenfolge der Punkte ist: Gabelung des Cubitus, Ende der Analis, 1. Gabelung der Medialis und ? Gabelung des Radius, 2. Gabelung der Medialis, Ende von Cu_2, 1. Gabelung des Sector, Ende von Cu_1.

Brodia nympha n. sp. (Fig. 90).

Im Brit. Mus. findet sich auch eine Serie von Flügelscheiden von Larven, die offenbar zu *Brodia* gehören und, nach der Größe zu schließen, verschiedenen Entwicklungsstadien angehören. Welcher Art oder welchen Arten sie angehören, läßt sich wenigstens vorläufig noch nicht feststellen, und ich fasse sie daher unter einem Namen zusammen. Die Hauptsache dabei ist, daß uns diese Larven neuerdings beweisen, daß die Megasecopteren — wie ja aus ihrem ganzen Bau zu entnehmen war — heterometa-

Fig. 90.



Brodia nympha n. sp. × 2.

bole Insekten sind und nicht, wie Lameere meint, holometabole. Die Exemplare stammen aus dem »Upper Carbon. Coal Meas.« von Coseley near Dudley, Staffordsh. und tragen die Journ. Nummern 1563, 1564, 2966, 2967, 2968, 2969. Das erste habe ich abgebildet, es ist das größte und hat eine Länge von 18 *mm*. Dahinter sieht man noch das Ende des Hinterflügels, aus dem wir auf die schräg nach hinten gerichtete Lage der Flügelscheiden schließen können.

Fam. **Prochoropteridae** Handl.

Nach dem Geäder und der Körperform muß man wohl annehmen, daß diese amerikanische Form zu den Megasecopteren gehört. Es ist jedoch bemerkenswert, daß die Flügel nicht mehr horizontal ausgebreitet sind, sondern schief zurückgelegt. Vielleicht handelt es sich hier nicht nur um eine postmortale Verlagerung, sondern um einen tatsächlichen Übergang zu Formen, bei welchen die Flügel über dem Abdomen gefaltet waren.

Genus Prochoroptera Handl.

Prochoroptera calopteryx Handl. vom Mazon Creek.

Prochoroptera calopteryx Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 376, f. 61—63, 1911.

Megasecoptera incertae sedis.

Genus Palaeopalara Handl. mit **gracilis** Handl. aus Belgien.

Genus Anthracopalara Handl. mit **falcipennis** Handl. aus Belgien.

Genus Adiaphtharsia Handl. mit **ferrea** Handl. vom Mazon Creek.

Genus Lameereites Handl.

Eine Larvenform vom Mazon Creek. Sehr ähnlich jener, die ich oben als *Brodia nympha* angeführt habe. Die ganze Flügelform und die Anlage des Geäders deutet auf ein *Megasecopteron*, doch kennen wir zu wenige amerikanische Typen dieser Gruppe als reife Tiere, um eine nähere Bestimmung der Larve wagen zu können.

Lameereites curvipennis Handl.

Lameereites curvipennis Handlirsch, Amer. Journ. Sc., XXXI, 375, f. 59, 60, 1911.

Genus Trichaptum Brongn.

Bull. Soc. Rouen, 1885, ist ein nomen nudum.

Ordo: Protohemiptera Handl.

Ohne Zweifel der Ausgangspunkt für die Reihen der Homopteren und Heteropteren.

Fam. **Eugereonidae** Handl.

Genus Eugereon Dohrn mit **Boeckingi** Dohrn aus dem unt. Perm von Deutschland.

Rekonstruktion: Handlirsch, Handb. Ent., III, 174, f. 130.

Ordo: Palaeohemiptera Handl.

Ein Bindeglied zwischen Protohemipteren und Homopteren + Heteropteren. Wenn man diese letzteren nur als Unterordnungen auffaßt, kann man selbstverständlich auch die Palaeohemipteren als eine solche betrachten.

Fam. **Prosbolidae** Handl.

Genus Prosbole Handl. mit **hirsuta** Handl. aus dem oberen Perm von Rußland.

Fam. **Scytinopteridae** Handl.

Genus Scytinoptera Handl. mit **Kokeni** Handl. aus dem oberen Perm von Rußland.

Insecta incertae sedis.

Die hier angeführten Fossilien gehören wohl zweifellos zu den Insekten, sind aber entweder zu ungenügend bekannt oder derart abweichend von dem Gewohnten, daß ich es nicht wage, ein Urteil über ihre systematische Stellung abzugeben. Die Zahl dieser Formen belief sich im Handbuche noch auf 62, ist aber jetzt auf 30 herabgesunken und wird hoffentlich bald ganz verschwinden.

Genus Megathentomum Scudder mit **pustulatum** Scudder und **Scudderi** Handl. vom Mazon Creek.

Genus Paracridites Handl. mit **formosus** Goldenb. aus den Saarbrücker Schichten.

Wurde von Schlechtendal in den Nov. Act. 1913, t. 1, f. 16 und t. 10, f. 4 neuerdings abgebildet und umgekehrt orientiert, wodurch wir aber um keinen Schritt näher zur Erkenntnis gelangt sind.

Genus Pseudoacridites Handl. mit **Goldenbergi** Kliver aus den Saarbrücker Schichten.

Eine gewisse Ähnlichkeit zwischen diesen vier Fossilien ist nicht zu verkennen. Sie gehören entweder einer ganz aberranten Gruppe mit kurzen fächerartigen Flügeln an oder es sind Prothorakalflügel riesiger Palaeodictyopteren.

Genus Megablattina Brongn. mit **Kliveri** Goldenb. aus der Ottweiler Stufe des Saargebietes.

Auch hier erhalten wir durch die neue Abbildung von Schlechtendal in Nov. Acta 1913, t. 2, f. 4, t. 7, f. 4, keinen Aufschluß über die Verwandtschaft.

Genus Pseudanthracothremma Handl. mit **Scudderi** Brongn. aus Commentry.

Genus Dictyocicada Brongn. mit **antiqua** und **?simplex** Brongn. aus Commentry.

Genus Pseudotermes Handl. mit **parvulus** Kliver aus den Saarbrücker Schichten.

Genus **Neurostena** m. mit **Fayoliana** m. aus Commentry.

Stenoneura Fayoli Brongniart, Faune ent. terr. prim., 551, t. 50, f. 4, 1893.

Ich schaffe diesen provisorischen Namen, weil ich der Ansicht bin, daß das zitierte Fossil mit *Stenoneura Fayoli* nichts zu tun hat.

Genus **Protodictyon** Melander mit **pulchripenne** Melander vom Mazon Creek.

Genus **Phthanocoris** Scudder mit **occidentalis** Scudder aus Mo. Nordamerika.

Genus **Kustia** m. mit **bohemica** m. aus dem mittleren Obercarbon von Rakonitz.

»Insektenflügel« von Kusta. Sb. böhm. Ges., 594, 1885.

Wird sich sicher in irgend einer Sammlung Böhmens finden und ist vielleicht sehr interessant.

Genus **Anthracocorides** Fritsch mit **platipes** Fritsch vom gleichen Fundorte wie das vorhergehende Tier.

Das Original liegt sicher im Prager Museum und sollte doch einmal untersucht und abgebildet werden.

Genus **Archegogryllus** Scudder mit **priscus** Scudder aus Ohio.

Genus **Dictyophlebia** Goldenb. mit **protogaea** Gold. aus Malstatt in Deutschland.

Es wäre empfehlenswert, in den Museen nach dem Originale zu suchen und es endlich zu beschreiben. Vorläufig existiert nur der Name.

Genus **Brachyptilus** Brongn. Vom Autor selbst aufgegebener Name.

Genus **Pictetia** Brongn. Gleichfalls ein nomen nudum.

Genus **Geraropsis** mit **Scudderi** m. vom Mazon Creek.

Gerarus ? Scudder, Mem. Bost. Soc., III, 345, t. 32, f. 5, 1885.

? Gerarus Handlirsch, Foss. Ins. 331, 1907.

Gen: **Oedischiopsis** m. mit **Maximae** Brongn. aus Commentry.

Oedischia Maximae Brongniart, Faune ent. terr. prim., 559, t. 51, f. 10, 1893.

(? Oedischia) Maximae Handlirsch, Foss. Ins., 331, 1907.

Durch die mächtig entwickelten Vorder- und Mittelbeine, die kaum schwächer sind als die Hinterbeine, weicht dieses große Tier von *Oedischia* ab. Es kann sich wohl um ein Protorthopteron behandeln, doch kann man das nach der Abbildung nicht sicher sagen.

Genus **Protoblattina** Meunier.

Protoblattina Bouvieri Meun. aus Commentry (Fig. 91).

Protoblattina Bouvieri Meunier, Bull. Mus. Hist. Nat., XV, 48, f. 7, 1909.

— — — Ann. Paleont., IV, 151, t. 5, f. 7, 1909.

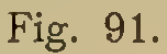
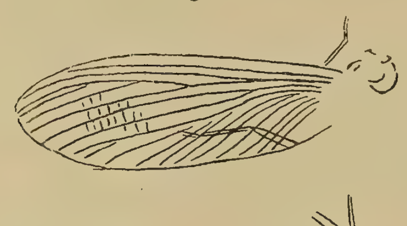


Fig. 91.



Protoblattina Bouvieri Meun. × 1·7.

Gehört sicher nicht zu den Blattoiden, sondern vermutlich zu den Protoblattoiden, Protorthopteren oder zu einer eigenen Gruppe. Soweit es mir nach dem Photogramm möglich ist, habe ich das

Geäder entziffert, doch kann ich keine Verantwortung für die Richtigkeit meiner Deutung übernehmen.

? **Protoblattina Giardi** Meun. aus Commentry.

Protoblattina Giardi Meunier, Comptes Rendus Acad. Sc., CLIV, 1194, 1912.

Ich kenne noch kein Bild dieser Art, muß also vor den Genusnamen ein ? setzen. Meunier sagt nur, die Form ähnle wie *Bouvieri* den Palaeodictyopteren.

Genus Protoblattiniella Meunier.

Protoblattiniella minutissima Meun. aus Commentry.

Protoblattiniella minutissima Meunier, Comptes Rendus, CLIV, 1194, 1912.

Ist eine Larve mit auffallend schmalen Flügeln, also vielleicht ein *Megasecopteron*.

Genus Lapparentia Meun.

Lapparentia superba Meun. aus Commentry.

Lapparentia superba Meunier, Compt. Rendus, CLIV, 1194, 1912.

Soll Ähnlichkeit mit *Eucaenus* haben und einen blattidenartigen Thorax. Nachdem mir weiter keine Angaben vorliegen, kann ich nicht sagen, ob Meunier die Wahrheit spricht, wenn er diese Form als »irrécusablement« zu den Blattiden gehörig betrachtet, womit er jedoch die Protoblattoiden meint.

? **Polyetes elegantissima** Meun. aus Commentry.

Polietes elegantissima Meunier, Compt. Rendus, CLIV, 1194, 1912.

»Hat einige Ähnlichkeit mit *Eucaenus*, nähert sich aber mehr dem Genus *Polietes* Handl.«. Das genügt mir nur, um zum Genusnamen ein Fragezeichen zu setzen und die Form unter den zweifelhaften anzuführen.

Genus Sphalmatoblattina Handl. **latinervis** Heer. aus dem unteren Perm Deutschlands.

Genus Alienus Handl. mit **lebachensis** Goldenb. aus dem unteren Perm Deutschlands.

Genus Termitidiopsis m. mit **rugosum** Goldenb. aus dem unteren Perm Deutschlands.

Orthopteron? Dohrn, Palaeontogr., XVI, 134, t. 8, f. 4, 1867.
Termitidium? rugosum Goldenberg, Fauna Saraep. Foss., II, 17, 50, t. 1, f. 14, 1877.

Genus Cercopyllis Scudder mit **justiciae, delicatula** und **adolescens** Scudder aus dem unteren Perm von Colorado.

Erwähnt, aber nicht beschrieben sind:

»**Insect wing**« Mitchel, Proc. Linn. Soc. N. S. W., XXIII, 437, 1898, aus dem Perm von Australien.

»**Abundant insect wings**« Woodworth, Bull. Mus. Comp. zool., LVI (1) 47, 1912, aus dem Perm von Brasilien.

Diese Fossilien dürften von außerordentlich hohem Interesse sein, und es ist zu hoffen, daß sie von einem sachverständigen Autor bald beschrieben werden.

Der Vollständigkeit halber gebe ich hier noch eine Liste jener Fossilien, die wohl als paläozoische Insekten gedeutet wurden, aber entweder sicher nicht oder höchst wahrscheinlich nicht auf paläozoische Insekten zurückzuführen sind. Vielleicht veranlaßt diese neuerliche Aufzählung die Verwalter der Museen, nach den betreffenden Originalen zu forschen und durch neuerliche Untersuchung feststellen zu lassen, um welche Tier oder Pflanzenreste es sich eigentlich handelt. Es wäre doch gut, diesen Ballast endlich aus der Literatur zu entfernen.

»**Mantis?**« Scudder, 1868, vom Mazon Creek.

»**Phasmidae**« Kirkby, 1867, aus dem mittleren Carbon von Durham.

»**Small Hymenopteron**« Buckland, 1841, aus Glasgow.

Vermutlich nicht paläozoisch.

»**Wings of beetles**» Taylor, aus Yorkshire.

Vermutlich aus dem Lias.

»**Coleopterous Insect**« Prestwich 1834, aus Coalbrookdale. Vielleicht Spinnen?

»**Pupa of a coleopteron**« Binney 1867, aus Bradley.? ob. Carbon.

»**Fraglicher Insektenflügel**« Kliver 1886, aus dem oberen Obercarbon von Sachsen.

Dürfte ein Farnkraut sein.

»**Genentomum subacutum**« Bolton, Qu. J. G. Soc., LXVIII, 334, t. 27, f. 18, 19, 1911.

Ist wohl kein Insekt, sondern ein Farnblättchen aus dem mittleren Carbon von Bristol.

»**Fragment indeterminable**« Brongniart 1893, t. 40, f. 15 (false 13) aus Commentry.

Dürfte ein Pflanzenrest sein.

»**Archicarabides pater**« Fritsch 1901, aus Nürschan.

Ist vermutlich ein Arthropode.

»**Dytiscomorphus larvalis**« Fritsch 1905 aus Rakonitz ist wohl ein Arthropode.

»**Arthroon Rochei**« Renault 1894, aus dem Culm von Autun. ? ob Tierreste.

»**Phryganea arenacea, solitaria** und **Kolbi**« Fritsch 1901, aus Nürschan.

Können Koprolithen oder irgendwelche Konkretionen von Fremdkörpern sein.

»**Xyloryctes septarius**• Sternberg, Fritsch 1836. 1874, aus Böhmen.

»**Xyloryctes planus**« Geinitz 1855, Fritsch 1874, aus Deutschland.

»**Hylesinus**« Brongniart 1877, aus Frankreich.

»**Galeries d'Insectes**« Grand Eury 1890, aus Frankreich.

Diese vier Objekte sind wohl nur sehr fraglich als von Arthropoden erzeugte Gebilde hinzustellen.

»**Haplotichnus indianensis**«, »**Plangtichnus erraticus**« und »**Treptichnus bifurcus**« Miller 1889, aus Indiana.

Sind wohl Fußspuren, doch ist noch festzustellen, ob von Insekten erzeugt.

»**Archaescolex corneus**« Matthew 1889, aus New Brunswig.

Ist vielleicht ein Myriapode.

»**Podurites saltator**« Matthew 1895, aus New Brunswig, ist vielleicht eine Spinne.

»**Geracus tubifer**« Matthew 1897, aus New Brunswig, ist sicher kein Insekt.

»**Käfer**« Dathe 1885, aus dem Culm von Schlesien, sind Ammonitenfragmente.

»**Mylacridae?** sp.« Scudder 1895, vom Mazon Creek.

Gehört wohl als Pleurenplatte zu einem Arthropoden. Vielleicht zu *Arthropleura.*

»**Euphemerites affinis, simplex, gigas**« Scudder 1868 und «**Euephemerites primordialis**« Scudder 1878, aus Nordamerika, sind Pflanzenreste.

»**Termes (Calotermes) Buchi**« Goldenberg 1873, aus Deutschland, ist eine *Arachnoide.*

»**Termes?**« Borre 1875, aus Belgien, ist sicher kein Insekt.

»**Termes (Calotermes) Hageni**« Goldenb. 1854, aus Deutschland, ist eine *Arachnide.*

»**Insektenrest**« Kliver 1886, aus Saarbrücken.

Ist wohl kein Insekt, aber vermutlich ein *Arthropode.*

»**Troxites Germari**« Goldenberg 1854, aus Deutschland.

Ist ein *Arthropleura*-Fühlerglied (nach Schlechtendal).

»**Macropteris punctata**« Goldenberg, Schlechtendal 1913, t. 1, f. 2, ist kein Insekt.

»**Caterpillar**« Brodie 1845, aus Yorkshire, ist ein *Myriopode.*

»**Curculioides Ansticii** und **Prestwichii**« Buckland 1837, aus England, sind Spinnen.

»**Libellula carbonaria**« Scudder 1876, aus Nordamerika, ist eine Spinne.

»**Adelophthalmus granosus**« Jordan 1854, ist ein *Eurypteride.*

»**Dasyleptus Lucasi**« Brongniart 1885, aus Commentry, sind Arachniden und Crustaceen.

»**Blattina splendens**« Göppert« 1865, aus dem unteren Perm von Böhmen.

Ist wohl ein *Arthropodenrest,* aber vermutlich kein Insekt.

»**Insekt**« Netschajew 1894, aus dem Perm von Rußland, ist sicher kein Insekt.

»**Palaeoblattina Douvillei**« Brongn., aus dem Silur von Frankreich, ist ein *Trilobit.*

»**Protocimex siluricus**« Moberg, aus dem Silur von Schweden, ist kein Insekt.

Wir können somit sagen, daß uns, abgesehen von Blattarien, fast 500 paläozoische Insekten soweit bekannt sind, daß man sie systematisch und phylogenetisch verwerten kann. Seit einem Dezennium ist die Zahl also um mehr als 180 Formen angewachsen.

Ich freue mich, sagen zu können, daß dieser bedeutende Fortschritt in der Erschließung des phylogenetischen Archives, der wohl zum Teile dem Erscheinen des Handbuches zu verdanken ist, nichts geliefert hat, was imstande wäre, die allgemeinen Schlüsse, die ich schon vor zehn Jahren aus dem Tatsachenmaterial ziehen konnte, wesentlich zu alterieren. Im Gegenteil! Es sind nur neue Beweise für meine Ansichten erbracht worden, so daß ich hoffen kann, die Zeit zu erleben, in der sich auch die starrsten Gegner meiner Hypothesen vor der Macht der Tatsachen beugen werden.

An der Deutung der Paläodictyophteren als Stammgruppe aller Pterygogenen ist wohl nicht mehr zu zweifeln. Zahlreiche Seitenzweige dieser Stammgruppe divergieren in verschiedenen Richtungen. Manche von ihnen führen in eine Sackgasse und enden blind, andere bilden zweifellos den Ausgangspunkt für die späteren »modernen« Reihen. So haben wir eine bereits geschlossene Übergangsreihe von den Paläodictyopteren zu den Eintagsfliegen, eine andere zu den Libellen, eine dritte zu den Heuschrecken, eine vierte zu den Schaben und Fangheuschrecken. In dieser finden wir schon einzelne Typen, die uns in bestimmten Merkmalen an Termiten oder Käfer erinnern. Noch undeutlich sind die Brücken, welche zu den Embiden, Perlarien, Megalopteren, Neuropteren und Panorpaten hinüberführen.

Trotz des reichen hinzugekommenen Materiales ist noch immer keine Spur eines holometabolen Insektes gefunden und keine Spur von Apterygogenen. Wir werden also doch nicht irren, wenn wir die Entstehung der Holometabolie an den Schluß des Paläozoikums verlegen und die Apterygogonen als abgeleitete Formen betrachten, die nicht die Vorläufer der Pterygogonea waren.

ANTHROPOLOGISCHE UNTERSUCHUNG DER MENSCHLICHEN ÜBERRESTE AUS DEN ALTÄGYPTISCHEN GRÄBERFELDERN VON EL-KUBANIEH

DURCHGEFÜHRT AN DEM MIT UNTERSTÜTZUNG AUS DER ERBSCHAFT TREITL AUSGEGRABENEN SKELETTMATERIAL

VON

C. TOLDT

W. M. AKAD.

MIT 6 TAFELN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 9. JÄNNER 1919

Inhalt.

Einleitung.

Material und Arbeitsmethode.

Das Schädelmaterial, über welches hier berichtet werden soll, ist zunächst nicht so sehr wegen seiner Seltenheit, sondern hauptsächlich wegen der großen Vor- und Umsicht, mit welcher es zustande gebracht wurde, von außergewöhnlichem Wert. Prof. H. Junker hat bei seinen im Auftrage der Wiener Akademie der Wissenschaften in Oberägypten vorgenommenen Grabungen die einzelnen Gräber mit allen erforderlichen Kautelen eröffnet und jedes derselben genau beschrieben und samt seinem Inhalte photographisch aufgenommen, so daß für alle Gräber auf Grund des vorgefundenen Grabinventars eine verläßliche Zeitbestimmung ermöglicht und diese jederzeit kontrolliert werden kann. Das Nähere darüber ist aus den in den Schriften der Akademie der Wissenschaften erschienenen Abhandlungen Junker's zu ersehen.

Die Schädel und sonstigen Skeletteile waren genau bezeichnet, an Ort und Stelle in große Kisten verpackt und der prähistorisch-ethnographischen Abteilung des naturhistorischen Hofmuseums eingesendet worden. Daselbst wurde die Auspackung von dem Vorstande der genannten Abteilung Regierungsrat Szombathy und mir überwacht. Die Mehrzahl der Schädel waren unversehrt, viele aber mehr oder weniger zerbrochen, einzelne unvollständig. Die sämtlichen Skeletteile wurden dann um sie von ihrem großen Salzgehalte zu befreien, nach Anordnung und unter Aufsicht Szombathy's gereinigt, ausgelaugt und getrocknet. Die vorhandenen Bruchstücke wurden, soweit es anging, sorgfältigst zusammengefügt, was sich leider bei einer beträchtlichen Anzahl von Schädeln hinsichtlich der Gesichtsteile als unmöglich erwies; bei der Mehrzahl der Schädel fehlt der Unterkiefer. So war der Zustand der Skeletteile, welche wir der Untersuchung unterzogen, im allgemeinen ein günstiger, allerdings konnten ab und zu auch am Hirnschädel wegen vorhandener Defekte einzelne Maße nicht bestimmt werden.

Die Untersuchung der Schädel und der anderen Skeletteile sollte programmgemäß gemeinschaftlich von Prof. Pöch und mir durchgeführt werden. Da aber Pöch durch seine unaufschiebbaren Arbeiten in den Kriegsgefangenenlagern bald vollauf in Anspruch genommen wurde, mußte seine Mitwirkung sich auf die Maßbestimmungen an 33 Schädeln beschränken.

Die ganze Arbeit wurde in der prähistorischen Abteilung des naturhistorischen Hofmuseums durchgeführt, und es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Regierungsrat Szombathy für die vielfache Unterstüzung mit Rat und Tat hier den wärmsten Dank auszusprechen.

Zur Registrierung der Messungsergebnisse wurde von Szombathy, Pöch und mir einvernehmlich ein »kraniologisches Beobachtungsblatt«, im wesentlichen nach den Grundsätzen Martin's, zusammengestellt. In ein solches wurden für jeden Schädel auf der Vorderseite die sämtlichen Maße und Indexe eingetragen, auf der Rückseite aber der Zustand des Schädels und seine allgemeinen Merkmale sowie alle irgendwie in Betracht kommenden Besonderheiten desselben verzeichnet. Diese Beobachtungsblätter dienten dann allen tabellarischen Zusammenstellungen zur Grundlage. Zur Vereinfachung wurde jeder Schädel neben der Junker'schen, etwas komplizierten, der Reihenfolge der Gräber entsprechenden Originalbezeichnung (vgl. Tab. I) mit einer fortlaufenden Arbeitsnummer versehen, welche auch in den im Anhange angeschlossenen Tabellen verwendet wurde. Bezüglich dieser möge bemerkt sein, daß ich der besseren Übersicht wegen für bestimmte Gruppen von zusammengehörigen Maßen und Maßverhältnissen je eine besondere Tabelle angelegt und in dieser die Schädel nicht nach der fortlaufenden Nummer, sondern nach einem wichtigen Merkmale, zum Beispiel dem Längen-Breiten-

Index, der größten Breite, dem Rauminhalte usw. aneinandergereiht habe, so daß man bezüglich dieser Merkmale sofort einen guten Überblick erhält.

Bei der weiteren Bearbeitung habe ich dann für jedes Maß und Maßverhältnis eine besondere Zusammenfassung angefertigt, in welcher die auf die einzelnen, der Reihe nach folgenden Ziffern entfallende Schädelzahl, sowie die auf bestimmte Zifferngruppen entfallenden absoluten und Prozentzahlen der Schädel, nach Geschlecht und Herkunft derselben gesondert, verzeichnet sind. Man ist so in den Stand gesetzt, ohne Mühe jede beliebige Gruppierung der Schädel vorzunehmen, oder wenn man will, Mittelzahlen zu berechnen. Das letztere habe ich grundsätzlich unterlassen, weil sie zwar den großen Vorteil der Kürze des Ausdruckes besitzen aber selbst wenn die Grenzzahlen beigefügt werden, über die Gruppierung der Schädel innerhalb des gegebenen Spielraumes völlig im Unklaren lassen und daher für die Charakterisierung einer Schädelreihe unzulänglich sind.

Ein Beispiel einer solchen Zusammenfassung ist auf p. 7 bezüglich des Längenbreitenindex zu finden. Alle übrigen Zusammenfassungen habe ich der Raumersparnis wegen für die Veröffentlichung, soweit es zulässig erschien, vereinfacht.

Die hier behandelten Schädel bilden den kleineren Teil der Junker'schen Aufsammlungen. Sie stammen aus zwei voneinander unabhängigen Gräberfeldern, welche sich an der Südgrenze Ägyptens, etwas nördlich von Assuan befanden. Junker bezeichnet sie als El-Kubanieh-Süd und El-Kubanieh-Nord. Ein drittes, in der Nähe gelegenes, der nachchristlichen Epoche angehörendes Gräberfeld kann hier nicht in Betracht gezogen werden, weil aus ihm nur ganz vereinzelte menschliche Skelettreste vorhanden sind. Auf Grund der in den einzelnen Gräbern der beiden Friedhöfe vorgefundenen Beigaben konnte Junker mit Sicherheit erschließen, daß die Gräber sehr verschiedenen Zeitperioden angehören, worauf später zurückzukommen sein wird. Vorerst sollen die Schädel der beiden großen Gruppen zusammenfassend geschildert und beide Gruppen hinsichtlich der Merkmale der ihnen angehörenden Schädel verglichen werden.

Die Südgruppe, El-Kubanieh-Süd, umfaßt im ganzen 130 Schädel, von welchen jedoch 4 wegen prämaturer Synostose der Pfeilnaht, 1 wegen Bathrokephalie sowie 4 kindliche Schädel nicht berücksichtigt werden können. Es verbleiben daher für diese Gruppe 121 Schädel, wovon 71 männliche und 50 weibliche.

Zur Nordgruppe, El-Kubanieh-Nord, gehören 62 Schädel; von diesen wurden 2 erwachsene wegen großer Defekte und 1 kindlicher Schädel ausgeschieden; es verbleiben daher 59 Schädel, von welchen 37 männlichen und 22 weiblichen Geschlechtes sind.

A. Hirnanteil des Schädels.

Seine Längen- und Breitenverhältnisse (Tabelle I).

Über das allgemeine Verhalten der absoluten Masse für die größte Länge und die größte Breite der Schädel gibt die folgende Zusammenfassung Aufschluß, indem sie für beide Gruppen und nach dem Geschlechte gesondert die Prozentzahlen der auf die verschiedenen Maßabstufungen entfallenden Schädel ersichtlich macht.

		Größte Länge in Millimeter				Größte Breite in Millimeter			
		170 und weniger	171—179	180—189	190 und mehr	124 und weniger	125—132	133—140	141 und mehr
Kub. Süd	71♂	2·8 %	26·8 %	60·5 %	9·9 %	4·2 %	15·5 %	69·0 %	11·3 %
			87·3 %				**84·5 %**		
» Nord . . .	37♂	2·7 %	32·4 %	51·4 %	13·5 %	2·7 %	27·0 %	62·2 %	8·1 %
			83·8 %				**89·2 %**		
Kub. Süd	50♀	14·0 %	56·0 %	28·0 %	2·0 %	4·0 %	40·0 %	50·0 %	6·0 %
			84·0 %				**90·0 %**		
» Nord . . .	22♀	13·6 %	50·0 %	36·4 %	0	9·1 %	40·9 %	45·5 %	4·6 %
			86·4 %				**86·4 %**		

Es ergibt sich, daß die größte Länge in beiden Gruppen, sowohl bei den Männern als bei den Weibern in 84 bis 87% der Fälle sich innerhalb eines mittleren Spielraumes von 171 bis 189 *mm* hält. Innerhalb dieses Spielraumes kommen jedoch bei den Männern Schädel mit einem höheren Maße der größten Länge erheblich zahlreicher vor als bei den Weibern, indem bei den ersteren in der Südgruppe 60, in der Nordgruppe 51% der Schädel eine Länge von 180 bis 189 *mm* erreichen, während bei den Weibern eine solche nur in 28, beziehungsweise 36% der Schädel erscheint. Hingegen weisen von den Weibern der Südgruppe 56 und der Nordgruppe 50% eine größte Länge von 171 bis 179 *mm* auf, gegenüber den Männern, von welchen in der Südgruppe nur 26·8, in der Nordgruppe 32% in diese Stufe fallen. Nur als Ausnahmen erscheinen Schädel, deren größte Länge unterhalb des besprochenen Spielraumes bleibt oder sich über diesen erhebt, ersteres etwas häufiger bei den Weibern, letzteres etwas häufiger bei den Männern. Das Höchstmaß der größten Länge beträgt in der Südgruppe 200 *mm*, in der Nordgruppe 195 *mm*, beidemal bei einem Mann, das Mindestmaß in der Südgruppe 163 bei einem Manne und 160 *mm* bei einem Weibe.

Die größte Breite ist im allgemeinen eine sehr mäßige. Sie bewegt sich in 84·5 bis 90% der Schädel zwischen 125 und 140 *mm*. Dabei überwiegen aber stets die höheren Maße von 133 bis 140 *mm*, und zwar bei den Männern in der Südgruppe mit 69, in der Nordgruppe mit 62% der Schädel. Auf die nächstniederere Stufe von 125 bis 132 *mm* entfallen von ihnen nur 15·5, beziehungsweise 27% der Schädel. Die Weiber zeigen einen geringeren Unterschied, indem bei diesen die höhere Maßabstufung in der Südgruppe mit 50 und in der Nordgruppe mit 45% der Schädel vertreten ist, hingegen die niederere Stufe von 125 bis 132 *mm* in beiden

Gruppen 40% der Schädel in sich schließt. Außerhalb des besprochenen Spielraumes liegt nur eine kleine Zahl von Schädeln, oberhalb desselben bei den Männern der Südgruppe 11·3%, unterhalb bei den Weibern der Nordgruppe 9·1% der Schädel. Ihr Höchstmaß erreicht die größte Breite in der Südgruppe mit 146, in der Nordgruppe mit 144 *mm*, beide Male an Männern, während sich ihr Mindestmaß in der ersteren auf 122, in der letzteren auf 121 *mm*, beide Male bei Weibern, beläuft.

Im allgemeinen kommen hinsichtlich der größten Länge und Breite die gesetzmäßigen Geschlechtscharaktere zu entschiedenem Ausdruck. Die Unterschiede zwischen der Süd- und Nordgruppe sind nicht sehr erheblich; immerhin aber ist für die Nordgruppe ein etwas häufigeres Vorkommen größerer Längenmaße bei den weiblichen, hingegen für die Südgruppe ein häufigeres Vorkommen größerer Breitenmaße bei den männlichen Schädeln bemerkenswert.

Hinsichtlich anderer Längenmaße des Hirnschädels sei erwähnt, daß die »gerade Länge« (mit Hilfe des Kraniostaten gemessen) an dem vorliegenden Material an annähernd zwei Dritteln der Schädel gleich ist mit der größten Länge und an den übrigen Schädeln nur um 1 *mm* zurücksteht. Darin liegt ein bemerkenswerter Unterschied gegenüber den von mir untersuchten planoccipitalen Schädeln, an welchen die beiden Maße nur bei einer kleinen Minderheit übereinstimmen und die Differenz zugunsten der größten Länge nicht selten auf 2 *mm*, ja in 14% der Schädel auf 3 bis 4 *mm* ansteigt. Viel erheblicher sind die Unterschiede zwischen der Glabella-Inionlinie und der größten Länge, und zwar vorzugsweise an den weiblichen Schädeln. Bei diesen bleibt die Glabella-Inionlinie in 42% der Schädel, bei den Männern in 28% um 11 bis 21 *mm* gegenüber der größten Länge zurück. Es sind dies durchwegs Schädel mit beträchtlich vortretendem oder langausgezogenem Hinterhaupt, insbesondere solche, welche ein großes Os interparietale besitzen. Ganz ausnahmsweise beträgt die Differenz zwischen den beiden Maßen nur 2 bis 3 *mm*. Es möge darauf hingewiesen werden, daß die Glabella-Inionlinie bei Kindern bis zu zehn Jahren gewöhnlich verhältnismäßig kurz ist, wie es scheint im Zusammenhang mit der noch geringen Ausbildung der Unterschuppe.

Der Längen-Breitenindex.

Die Schädel beider Gruppen weisen entschiedenen Langbau auf und fallen demgemäß nahezu ausschließlich in den Bereich der Dolicho- und Mesokephalie. Brachykephale Schädel kommen nur vereinzelt und nur in niederen Graden (Index 80 bis 82) innerhalb der Südgruppe vor; in der Nordgruppe fehlen sie vollständig.

Die Verteilung der Schädel auf die einzelnen Indexzahlen und ihre Gruppierung nach denselben ist aus der nachstehenden Zusammenfassung ersichtlich.

Die Dolichokephalie überwiegt bei den Männern der Süd- und Nordgruppe im Verhältnis zur Mesokephalie sehr bedeutend, und zwar mit 66, beziehungsweise 67% gegen 32% der Schädel, während bei den Weibern dieses Überwiegen bei der Südgruppe nur ein geringfügiges ist (50 gegen 44%) und in der Nordgruppe Dolicho- und Mesokephalie sich mit je 50% die Wage halten.

Nimmt man Männer und Weiber jeder Gruppe zusammen, so bilden die dolichokephalen Schädel in beiden Gruppen ziemlich gleichmäßig eine ansehnliche Mehrheit: 59·5, beziehungsweise 61% dolichokephale gegen 37, beziehungsweise 39% mesokephale.

Verhältnismäßig häufig bewegen sich die Indexzahlen zwischen 72 und 74, und zwar fallen dahin von den Männern der Süd- und Nordgruppe 46, beziehungsweise 43% und von den Weibern der Südgruppe 40% der Schädel. Nur die Weiber der Nordgruppe machen in dieser Hinsicht eine Ausnahme, indem sich von ihnen nur 22·7% der Schädel in diese Indexkategorie einreihen. Im allgemeinen erscheinen die Indexzahlen im Vergleich der beiden Schädelgruppen insoweit einigermaßen verschoben, als in der Südgruppe von allen 121 Schädeln nur 2 einen Index von 68 und weniger besitzen, also in den Bereich der Hyperdolichokephalie fallen, und 4 Schädel mit geringgradiger Brachykephalie vorkommen, während in der Nordgruppe unter den zu ihr gehörenden

Längen-Breitenindex.

		Dolichokephale										Mesokephale					Brachykephale		
	Index	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75·0	75·1	76	77	78	79	80	81	82
Kub. Süd	71♂	—	—	1	—	6	5	10	13	10	2	4	5	8	3	3	1	—	—
		47 = *66·2*%										23 = *32·4*%					1 = *1·4*%		
» Nord	37♂	1	1	1	2	3	1	4	5	6	1	2	5	4	—	1	—	—	—
		25 = *67·6*%										12 = *32·4*%					*0*		
Kub. Süd	50♀	—	—	1	1	—	—	5	7	8	3	2	10	4	5	1	1	1	1
		25 = *50·0*%										22 = *44·0*%					3 = *6·0*%		
» Nord	22♀	—	—	2	—	3	—	1	1	3	1	2	3	—	3	3	—	—	—
		11 = *50·0*%										11 = *50*%					*0*		
Kub. Süd	121♂+♀	—	—	2	1	6	5	15	20	18	5	6	15	12	8	4	2	1	1
		72 = *59·5*%										45 = *37·2*%					4 = *3·3*%		
» Nord	59♂+♀	1	1	3	2	6	1	5	6	9	2	4	8	4	3	4	—	—	—
		36 = *61·0*%										23 = *39·0*%					*0*		

59 Schädeln 5 hyperdolichokephale sind und brachykephale gänzlich fehlen. Die höheren Indexzahlen — von 76 aufwärts — fallen in der Südgruppe, besonders augenfällig bei den Männern, mit erheblicher Breite der Schädel zusammen, hingegen sind sie in der Nordgruppe nicht so sehr durch diese, sondern vorzugsweise durch verhältnismäßig geringe Länge der Schädel bedingt.

Dem allgemeinen Gebrauche folgend führe ich noch die Mittelzahlen des Längen-Breitenindex an. Für alle 180 Schädel stellt sie sich auf 74·6; in der Südgruppe beträgt sie für die männlichen Schädel 74·3, für die weiblichen 75·5 und in der Nordgruppe für die männlichen Schädel 73·7, für die weiblichen 74·4.

Präaurale und postaurale Länge (Tabelle II).

Für die Bauart des Schädels ist die verhältnismäßige Längenausdehnung seines vorderen und hinteren Abschnittes von großem Belang. Diese beiden Abschnitte grenzen sich gegeneinander in einer Ebene ab, welche von dem beiderseitigen Ohrpunkte senkrecht auf die Horizontalebene zum Scheitel gelegt wird und als die »Ohr-Scheitelebene« bezeichnet werden soll. Den Scheitel trifft diese Ebene gewöhnlich 1 bis 2 *cm* hinter dem Bregma; nicht selten rückt sie bis auf 3 *cm* hinter dasselbe zurück oder näher an dieses heran und ganz ausnahmsweise, z. B. an dem weiblichen Schädel der Südgruppe Nr. 156, dessen Stirnbogen verhältnismäßig lang ist (130 *mm*), fällt sie vor das Bregma. Für die beiden durch diese Ebene abgegrenzten Schädelabschnitte gebrauche ich die Namen präaural und postaural anstatt der gebräuchlichen prä- und postauricular, nicht nur, weil sie kürzer sind, sondern wesentlich deshalb, weil nicht die Ohrmuschel, Auricula, sondern das Ohr, Auris, dabei in Betracht kommt. Die Messung beider Abschnitte erfolgt in dem Bereich der »geraden Länge«, also parallel zur Horizontalebene, und kann so wie die Bestimmung dieser letzteren nur am Kraniostaten vorgenommen werden.

Als Ausdruck für dieses Verhältnis habe ich den »Postauralen Index« gewählt, der sich nach der Formel $\frac{Po \times 100}{\text{Ger. L.}}$ ergibt. Selbstverständlich könnte zu diesem Zwecke auch die Verhältniszahl der präauralen Länge zur geraden Länge, ebenso wie die Verhältniszahl der postauralen zur präauralen Länge verwendet werden.

Postaurale Länge in Prozenten der geraden Länge $\left(\frac{Po \times 100}{\text{Ger. L.}}\right)$.

Postauraler Index		43·4—44·9	45·0—46·9	47·0—49·4	49·5—49·9	50·0	50·1—50·5	50·6—51·9	52·0—53·9	54·0—55·1
Kub. Süd .	67♂	0	4 = *6·0* %	15 = *22·4* %	7 = *10·5* %	4 = *6·0* % (49·5—50·5:) 15 = *22·4* %	4 = *6·0* %	18 = *26·9* %	12 = *17·9* %	3 = *4·5* %
» Nord .	37♂	0	1 = *2·7* %	10 = *27·0* %	3 = *8·1* %	1 = *2·7* % (49·5—50·5:) 8 = *21·6* %	4 = *10·8* %	14 = *37·8* %	4 = *10·8* %	0
Kub. Süd .	47♀	0	0	7 = *14·9* %	2 = *4·3* %	1 = *2·1* % (49·5—50·5:) 8 = *17·0* %	5 = *10·6* %	14 = *29·9* %	18 = *38·3* %	0
» Nord .	20♀	0	1 = *5·0* %	3 = *15·0* %	1 = *5·0* %	2 = *10·0* % (49·5—50·5:) 4 = *20·0* %	1 = *5·0* %	4 = *20·0* %	6 = *30·0* %	2 = *10·0* %
Plan-occipitale Schädel	23♂	4 = *17·4* %	6 = *26·1* %	8 = *34·8* %	3 = *13·0* %	0 (49·5—50·5:) 3 = *13·0* %	0	2 = *8·7* %	0	0
	19♂	0	5 = *26·3* %	9 = *47·4* %	2 = *10·5* %	1 = *5·3* % (49·5—50·5:) 3 = *15·8* %	0	1 = *5·3* %	1 = *5·3* %	0

Bei einer kleinen Zahl der vorliegenden Schädel (bei 8 von 171) sind beide Schädelanteile gleich lang, also der postaurale Index = 50·0. Zählt man zu diesen noch jene Schädel hinzu, deren Index um eine halbe Einheit größer oder kleiner ist, was auch in Hinblick auf die möglichen Fehlerquellen gerechtfertigt erscheint, so kann gesagt werden, daß bei 17 bis 22% der Schädel die postaurale Länge ganz oder nahezu mit der präauralen übereinstimmt. In dieser Hinsicht besteht zwischen der Süd- und Nordgruppe unserer Schädel sowie den beiden Geschlechtern nur insofern ein kleiner Unterschied, als sich der genannte Prozentsatz bei den Weibern ein wenig niedriger stellt und unter diesen in der Nordgruppe niederer als in der Südgruppe (17, beziehungsweise 20%), während er sich bei den Männern auf 21·6, beziehungsweise 22·4% beläuft.

Abgesehen von diesen Schädeln zeigt sich ein erhebliches Überwiegen der höheren Indexzahlen, und zwar am meisten bei den Weibern der Südgruppe, so daß bei diesen der postaurale Schädelanteil sich häufiger und in höherem Maße als der längere herausstellt. Nichtsdestoweniger erscheint ungefähr ein Fünftel der Schädel mit einem postauralen Index, der unter 50 zurückbleibt, und zwar kommt dies häufiger bei den Männern und unter diesen wieder häufiger in der Nordgruppe vor, welche nahezu 30% solcher Schädel enthält. Die niedersten Indexzahlen 45·0 bis 46·9 erscheinen im ganzen sechsmal, die höchsten 54·0 bis 55·1 aber fünfmal.

Im großen und ganzen ist allerdings ein gewisses Absinken des postauralen Index mit dem Ansteigen des Längen-Breitenindex und der ganzen Schädellänge zu erkennen, allein es kommen darin so viele Ausnahmen vor, daß von einer Gesetzmäßigkeit in dieser Hinsicht nicht die Rede sein kann. Die folgende Übersicht wird dies zeigen.

Der postaurale Index hält sich

an 104 ♂	unter 50	bei 24 dolichokephalen,	16 mesokephalen,	— brachykephalen	Schädeln
	über 50	» 44 »	19 »	1 »	»
» 67 ♀	unter 50	» 5 »	10 »	3 »	»
	über 50	» 31 »	18 »	— »	»

Dabei fällt beispielsweise bei den Weibern der Südgruppe die höchste Indexzahl von 53·9 auf einen Schädel mit dem Längen-Breitenindex von 82·4 und bei den Männern derselben Gruppe die niedersten Indexzahlen 46·4 und 45·7 auf zwei Schädel mit dem Längen-Breitenindex 70·3, beziehungsweise 71·2, deren präaurale Länge das außergewöhnliche Maß von 103, beziehungsweise 101 *mm* erreicht.

Recht lehrreich gestaltet sich die vergleichende Beachtung planoccipitaler Schädel aus den Alpenländern, von welchen mir 42 (23 ♂ und 19 ♀) zur Verfügung stehen. Auch hier finden sich solche, deren post- und präauraler Abschnitt ganz oder nahezu gleich lang sind, und zwar von den Männern 13, von den Weibern 18 %. Dagegen ist die Zahl der Schädel, deren postauraler Index höher ist als 50, nur klein, so daß sich dieser an der großen Mehrzahl der Schädel unter 50 hält und auch tiefer herabsinkt als bei den Altägyptern (bis auf 43·4). Diese Ziffer findet sich an einem männlichen Schädel mit dem Längen-Breitenindex von 92·0, hingegen die Höchstziffer 52·1 an einem weiblichen Schädel mit dem Längen-Breitenindex von 89·4. Über 50 hält sich der postaurale Index bei diesen Männern an 2 brachykephalen, bei den Weibern an 2 hyperbrachykephalen Schädeln; unter 50 bei den Männern an 4 brachy- und 17 hyperbrachykephalen, bei den Weibern an 2 brachy- und 14 hyperbrachykephalen.

Wenngleich an diesen Schädeln die Flachheit des Hinterhauptes auf den postauralen Index in erster Linie zur Geltung kommt, so geht an ihnen das Absinken desselben keineswegs parallel mit dem Längen-Breitenindex oder der Länge des Schädels.

Aus allem geht hervor, daß die Beschaffenheit des Hinterhauptes allerdings einen großen Einfluß auf das Verhältnis der postauralen zur präauralen Länge ausübt, daß aber unabhängig davon auch erhebliche Schwankungen der präauralen Länge sich geltend machen, welche deshalb von Bedeutung sind, weil sie zu den Ausmaßen des Gesichtsschädels in Beziehung stehen und in Zusammenhang mit diesen sich herausgebildet haben.

Lage des Basion (Tabelle II).

Der vordere Rand des großen Hinterhauptloches, dessen medianer Punkt das Basion ist, muß als Grenze zwischen einem vorderen und einem hinteren Abschnitt der Schädelbasis gelten und es ist deshalb von Interesse zu sehen, wie sich das Basion seiner Lage nach zur Ohrscheitelebene, d. i. zur Grenzebene des post- und präauralen Schädelabschnittes, verhält (siehe die folgende Zusammenfassung).

Unter den 150 Altägypterschädeln, an welchen diese Bestimmung ausführbar war, findet sich sowohl in der Süd- als in der Nordgruppe, wie auch bei beiden Geschlechtern eine Anzahl von Schädeln, im ganzen 25, an welchen das Basion genau in die Ohrscheitelebene fällt, neben einer größeren Anzahl anderer, an welchen das Basion nur 0·5 bis 1·0 *mm* vor oder hinter dieser Ebene liegt. Es fällt daher das Basion sehr häufig genau oder nahezu mit der Ohr-Scheitelebene zusammen, und zwar bei den Männern und Weibern der Nordgruppe an mehr als der Hälfte der Schädel (51·5

		Im Verhältnis zur Ohr-Scheitelebene liegt das Basion								
		hinter: um				gleich	vor: um			
Millimeter		6·0—7·5	3·5—5·5	1·5—3·0	0·5—1·0		0·5—1·0	1·5—3·0	3·5—5·5	8·0
Kub. Süd . . .	♂61	5	3	27	6	5	2	9	13	1
			35 = *57·4*%			13 = *21·3*%			13 = *21·3*%	
» Nord . . .	♂33	0	6	8	2	11	4	2	0	0
			14 = *42·4*%			17 = *51·5*%			2 = *6·1*%	
Kub. Süd . . .	♀39	1	6	13	7	5	5	2	0	0
			20 = *51·3*%			17 = *43·6*%			2 = *5·1*%	
» Nord . . .	♀17	0	0	6	2	4	3	2	0	0
			6 = *35·3*%			9 = *52·9*%			2 = *11·8*%	
Planoccipitale Schädel	♂23	3	7	4	2	4	0	3	0	0
			14 = *60·9*%			6 = *26·1*%			3 = *13·0*%	
	♀19	1	2	5	2	4	3	2	0	0
			8 = *42·1*%			9 = *47·4*%			2 = *10·5*%	

beziehungsweise 52·9%, bei den Weibern der Südgruppe in 43·6%, bei den Männern dieser Gruppe aber nur in 21·3% der Schädel. Ähnliches gilt für die 42 planoccipitalen Schädel, an welchen das Basion bei den Weibern in 47·4%, bei den Männern in 26·1% ganz nahe vor oder hinter der Ohr-Scheitelebene oder genau (achtmal) in diese fällt. Es muß aber sogleich bemerkt werden, daß dies bei unseren Ägypterschädeln nur ausnahmsweise solche Schädel sind, bei welchen der post- und präaurale Abschnitt gleiche Länge besitzen, während es bei den planoccipitalen Schädeln viermal genau und zweimal annähernd zutrifft. An der Mehrzahl der Schädel entfernt sich jedoch das Basion nach der einen oder anderen Richtung ein wenig mehr von der Ohr-Scheitelebene, und zwar weitaus häufiger in der Richtung nach hinten (bei den Altägyptern an 75, bei den Planoccipitalen an 22 Schädeln), viel seltener nach vorn (neunzehn-, beziehungsweise fünfmal). Jedoch beträgt auch in den meisten von diesen Fällen der Abstand nicht mehr als 1·5 bis 3·0 *mm*; es sind dies bei den Altägyptern 46, bei den Planoccipitalen 40% aller Schädel. Fälle, in denen das Basion noch weiter von der Ohr-Scheitelebene abgerückt ist, kommen nur ausnahmsweise, und zwar verhältnismäßig am häufigsten bei den Männern der Südgruppe vor. An Schädeln, bei welchen dieser Abstand 4 bis 8 *mm* beträgt, läßt sich häufig ein besonderer örtlicher Zustand, wie außergewöhnliche Länge oder Kürze der Pars basilaris oder des großen Hinterhauptloches, als spezielle Ursache in Anspruch nehmen. Insbesondere in dem Falle, in dem das Basion 8 *mm* vor der Ohr-Scheitelebene liegt (Schädel Nr. 2), hängt dies offenbar mit einer äußerst seltenen Anomalie der Pars basilaris, nämlich nahezu vollständiger Querteilung, verbunden mit außergewöhnlicher Kürze derselben zusammen (vgl. Taf. III). Alles in allem ist bei den so festgestellten nahen Beziehungen des Basion zur Ohr-Scheitelebene nicht zu verkennen, daß durch diese auch an der Schädelbasis ein vorderer dem präauralen, und ein hinterer, dem postauralen Schädelabschnitt zugehöriger Anteil abgegrenzt wird, wenngleich die Grenze beider Anteile an der Schädelbasis meistens

ein wenig nach hinten oder nach vorn verschoben ist. Dies ist ohne Zweifel auf die verschiedenen Wachstumsbedingungen zurückzuführen, welche sich an der Schädelbasis gegenüber der Calvaria geltend machen.

Kleinste Stirnbreite (Tabelle I).

Ähnlich wie die größte Schädelbreite ist auch die kleinste Stirnbreite im allgemeinen eine sehr mäßige. Das absolute Maß derselben bewegt sich am häufigsten zwischen 90 und 94 *mm*, und zwar in der Nordgruppe und bei den Weibern der Südgruppe in ungefähr 45 % der Schädel. Nur bei den Männern der Südgruppe kommen, ähnlich wie für die größte Schädelbreite, etwas höhere Maße verhältnismäßig häufiger vor. Jedoch fallen die höheren Maße der kleinsten Stirnbreite keineswegs immer mit solchen der größten Schädelbreite zusammen. Als Höchstmaß der kleinsten Stirnbreite erscheint 103 *mm*, und zwar bei zwei Männern der Südgruppe; die Zahlen 100 oder 101 kommen dreimal bei Männern der Südgruppe und je einmal unter den Weibern derselben und den Männern der Nordgruppe vor. In der letzteren sind übrigens, sowohl bei den Männern wie bei den Weibern, die höheren Maße (von 96 aufwärts) entschieden seltener als in der Südgruppe. Das Mindestmaß von 79 *mm* findet sich je einmal bei den Männern der Süd- und Nordgruppe und zweimal bei den Weibern der letzteren.

Das Verhältnis der größten Schädelbreite zur kleinsten Stirnbreite, welches namentlich in der Oberansicht, aber auch in der Vorderansicht die Umrißform des Hirnschädels wesentlich beeinflußt und in dem Breitenindex des Schädels (transversaler Fronto-Parietalindex) seinen Ausdruck findet, ist aus der nachfolgenden Zusammenstellung zu ersehen:

Breitenindex des Schädels.

		Stenometop							Metriometop				Eurymetop						
	Index	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
Kub. Süd	71 ♂	—	1	2	4	2	5	5	11	5	5	10	5	4	7	2	1	1	1
		19 = *26·8 %*							31 = *43·7 %*				21 = *29·6 %*						
» Nord	37 ♂	1	2	—	—	—	5	2	10	4	4	4	—	—	1	1	1	1	1
		10 = *27·0 %*							22 = *59·5 %*				5 = *13·5 %*						
Kub. Süd	49 ♀	—	1	2	3	—	2	6	2	7	9	4	3	2	4	4	—	—	—
		14 = *28·6 %*							22 = *44·9 %*				13 = *26·5 %*						
» Nord	22 ♀	—	—	—	1	2	2	3	1	1	2	4	—	2	1	2	—	1	—
		8 = *36·4 %*							8 = *36·4 %*				6 = *27·3 %*						

Vorwiegend ist im ganzen die Metriometopie (Index 66 bis 69), indem sie bei den Männern und Weibern der Südgruppe in 44 %, bei den Männern der Nordgruppe sogar in 59 % der Schädel vorkommt. Nur bei den Weibern der Nordgruppe ist sie auf 36 % der Schädel beschränkt. Unter den letzteren sind hingegen die stenometopen Schädel gleich an Zahl mit den metriometopen, während sie in der Südgruppe und namentlich bei den Männern der Nordgruppe gegenüber den letzteren die entschiedene Minderzahl bilden (rund 27 %). Eurymetopie findet sich wieder am seltensten bei den Männern der Nordgruppe (13 %), während sie in den übrigen Kategorien annähernd in gleicher Zahl wie die Stenometopie erscheint (ungefähr 27 %).

Die Männer der Nordgruppe sind daher durch ein entschiedenes Mehr an Metriometopen und ein entschiedenes Weniger an Eurymetopen ausgezeichnet, die Weiber der Nordgruppe durch die gleich große Zahl der Metrio- und Stenometopen, hingegen ist in der Südgruppe die Verteilung der Indexzahlen bei Männern und Weibern eine annähernd übereinstimmende.

Größte Stirnbreite (Tabelle I).

Das absolute Maß derselben hält sich ziemlich gleichmäßig zwischen 106 und 115 *mm*; jedoch steigt es bei den Männern der Südgruppe etwas häufiger über 115 *mm* an, während es bei den Weibern der Nordgruppe etwas häufiger unter 106 *mm* zurückbleibt.

Der quere Stirnindex verteilt sich, wie die beifolgende Zusammenstellung zeigt,

Querer Stirnindex.

<table>
<tr><th colspan="2">Index</th><th>72—76</th><th>77—81</th><th>82—86</th><th>87—91</th></tr>
<tr><td rowspan="2">El Kub. Süd . . .</td><td rowspan="2">68♂</td><td rowspan="2">1 = 1·5%</td><td>23 = 33·8%</td><td>32 = 47·1%</td><td rowspan="2">12 = 17·6%</td></tr>
<tr><td colspan="2">55 = 80·9%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">» » Nord . .</td><td rowspan="2">36♂</td><td rowspan="2">2 = 5·6%</td><td>12 = 33·3%</td><td>19 = 52·8%</td><td rowspan="2">3 = 8·3%</td></tr>
<tr><td colspan="2">31 = 80·6%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">El Kub. Süd . . .</td><td rowspan="2">49♀</td><td rowspan="2">4 = 8·2%</td><td>14 = 28·6%</td><td>28 = 57·1%</td><td rowspan="2">3 = 6·1%</td></tr>
<tr><td colspan="2">42 = 85·7%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">» » Nord . .</td><td rowspan="2">20♀</td><td rowspan="2">0</td><td>5 = 25·0%</td><td>12 = 60·0%</td><td rowspan="2">3 = 15·0%</td></tr>
<tr><td colspan="2">17 = 85·0%</td></tr>
</table>

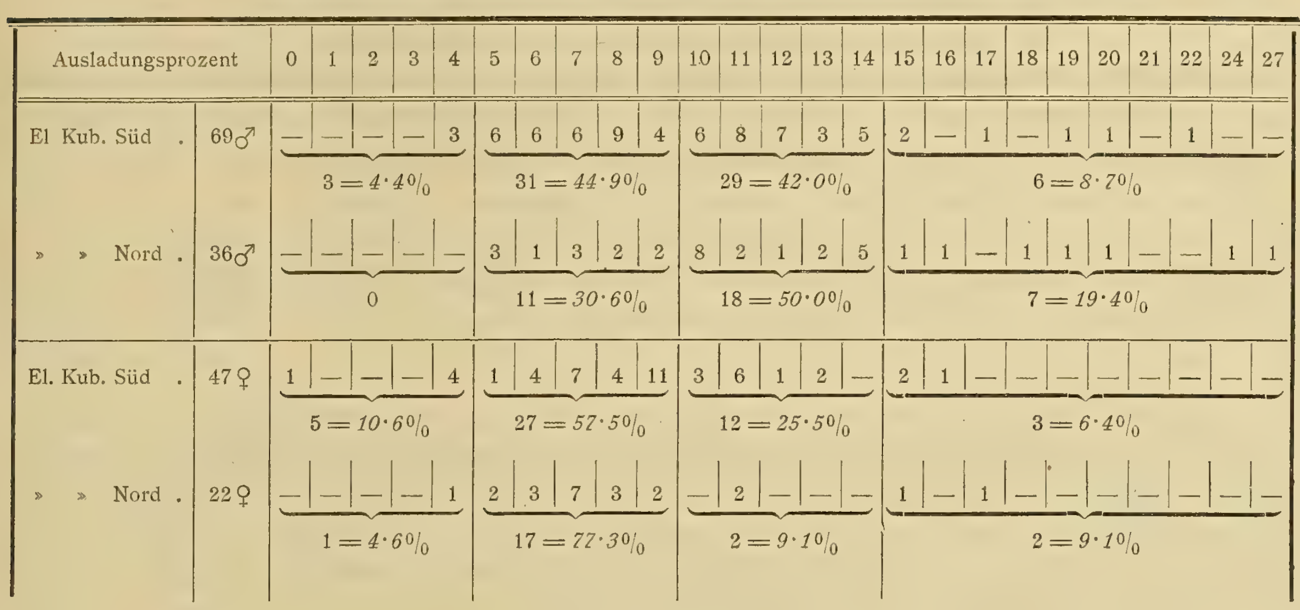
am häufigsten zwischen 77 und 86, und zwar bei den Männern in 80, bei den Weibern in 85% der Schädel. Dabei entfallen in beiden Gruppen die höheren Zahlen (von 82 bis 86) wieder etwas häufiger auf die Weiber. Der höchste Index (87 bis 91) findet sich jedoch bei den Männern der Süd- und den Weibern der Nordgruppe in etwas vorwiegender Zahl, während die kleinsten Indexzahlen (72 bis 76) überhaupt selten, bei den Weibern der Nordgruppe aber gar nicht vorkommen. Im allgemeinen ergibt sich also, daß die Verschmälerung der Stirn nach vorne bei den Männern etwas größer ist als bei den Weibern.

Ausladungsprozent der Jochfortsätze des Stirnbeins (Tabelle I).

Von ganz wesentlicher Bedeutung für die Charakteristik der Schädelform ist das Verhältnis der kleinsten Stirnbreite zu der äußeren Biorbitalbreite, welch letztere durch die seitlichen Endpunkte der Jochfortsätze des Stirnbeins bestimmt wird. Denn die seitliche Ausladung dieser Fortsätze, welche von ihrer Länge und Neigung abhängt, steht in engem Zusammenhange mit den Formverhältnissen der Oberaugengegend und in weiterer Folge mit der Form des Augenhöhleneinganges und mit der Breite des Obergesichtes. Das Maß dieser Ausladung ist durch das Verhältnis der kleinsten Stirnbreite zur äußeren Biorbitalbreite gegeben und die Formel $\frac{\text{Äuß. Bi. Br.} \times 100}{\text{Kl. St. Br.}}$ ergibt direkt die Zahl, welche ich

als Ausladungsprozent der Jochfortsätze bezeichnet habe. (Toldt, Brauenwülste, Tori etc. Mitt. d. Wiener Anthr. Ges., Bd. XLIV, 1914, p. 259.)

Ausladungsprozent der Jochfortsätze des Stirnbeins.



Ausladungsprozent		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	27
El Kub. Süd .	69♂	—	—	—	—	3	6	6	6	9	4	6	8	7	3	5	2	—	1	—	1	1	—	1	—	—
		3 = *4·4*%					31 = *44·9*%					29 = *42·0*%					6 = *8·7*%									
» » Nord .	36♂	—	—	—	—	—	3	1	3	2	2	8	2	1	2	5	1	1	—	1	1	1	—	—	1	1
		0					11 = *30·6*%					18 = *50·0*%					7 = *19·4*%									
El. Kub. Süd .	47♀	1	—	—	—	4	1	4	7	4	11	3	6	1	2	—	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—
		5 = *10·6*%					27 = *57·5*%					12 = *25·5*%					3 = *6·4*%									
» » Nord .	22♀	—	—	—	—	1	2	3	7	3	2	—	2	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—
		1 = *4·6*%					17 = *77·3*%					2 = *9·1*%					2 = *9·1*%									

An den hier behandelten Schädeln schwankt das Ausladungsprozent in ziemlich weiten Grenzen, von 0 bis 27; jedoch hält es sich bei der übergroßen Mehrzahl derselben zwischen 5 und 14. Innerhalb dieses Spielraumes findet sich die kleinere Zahlenhälfte (5 bis 9) bedeutend stärker bei den Weibern vertreten, bei denen der Nordgruppe sogar mit 77% derselben; hingegen finden sich die höheren Ziffern (10 bis 14) bei 50% der Männer der Nordgruppe und bei diesen häufig (19%) auch die darüber hinausgehenden Zahlen von 15 bis 27.

Diese letzteren Zahlen finden sich ganz vereinzelt, und zwar zumeist bei Schädeln, welche ihrer ganzen Bauart nach von der großen Mehrzahl erheblich abweichen. So unter anderem bei den Schädeln Nr. 2, 57, 126, 136, 139, 146, 168, welche sämtlich besonders kräftig gebaut sind, beträchtlich ausgebildete Brauenbögen und akzessorische Brauenbögen sowie ansehnliche Jochbreite, jedoch verhältnismäßig geringe kleinste Stirnbreite besitzen (Schädel vom Typus II).

Das Ausladungsprozent 0 kommt dem Schädel eines 15 bis 16 Jahre alten weiblichen Individuums (Nr. 76) zu, wie denn auch andere juvenile Schädel (Nr. 99, 28, 127) verhältnismäßig kleine Ausladungsprozente zeigen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei ihnen das definitive Maß der seitlichen Ausladung der Jochfortsätze noch nicht erreicht ist, weil das appositionelle Knochenwachstum an ihnen erst später zum Abschlusse gelangt.

Die medianen Sagittalbögen des Hirnschädels (Tabelle III).

Wenn wir durch Messung und Vergleichung derselben zunächst erfahren, mit welchen Anteilen die in Betracht kommenden Knochen: Stirn-, Scheitel- und Hinterhauptbein an der Konstruktion der Schädelkapsel in der sagittalen Richtung beteiligt sind, so ist dies vorwiegend in anatomischer Hinsicht von Interesse. Die Untersuchung des ganzen Sagittalbogens und seiner Komponenten gewinnt aber auch in anthropologischer Hinsicht an Wert, wenn man das Verhältnis der Bögen zu ihren Sehnen ins Auge faßt, weil dadurch das Maß — nicht aber die Art — der Krümmung derselben einen Ausdruck findet und so die Krümmungsverhältnisse des Hirnschädels im ganzen und in den einzelnen Abschnitten eine nähere Beleuchtung erfahren.

Das Maß des ganzen Sagittalbogens (Nasion-Opisthion) hängt im allgemeinen mit der Größe des Hirnschädels zusammen und nimmt auch — allerdings mit zahlreichen Ausnahmen, welche vorzüglich durch die Stirnneigung und die Scheitelerhebung bedingt sind — mit der größten Länge des Schädels zu. Bei den Weiberschädeln scheinen solche Ausnahmen häufiger vorzukommen.

Der ganze Sagittalbogen in absoluten Zahlen.

Bogenlänge		325	332	340—349	350—369	370—389	390—399
Kub. Süd	70♂	—	—	5·7%	34·3%	54·3%	5·7%
» Nord	33♂	—	—	3·0%	39·4%	48·5%	9·1%
Kub. Süd	45♀	—	—	4·4%	71·1%	22·2%	2·2%
» Nord	20♀	5·0%	5·0%	5·0%	55·0%	25·0%	5·0%

An dem vorliegenden Schädelmaterial schwankt der ganze Sagittalbogen in den verschiedenen Gruppen und namentlich auch nach dem Geschlechte recht bedeutend. Unter den Männern bewegt er sich am häufigsten (in der Südgruppe bei 54%, in der Nordgruppe bei 48% der Schädel) zwischen 370 und 389 *mm*, und auf einer nächst niedrigeren Stufe von 350 bis 369 *mm* in der Südgruppe bei 34%, in der Nordgruppe bei 39% der Schädel. Die Weiberschädel besitzen im allgemeinen einen wesentlich kleineren Sagittalbogen, indem er sich bei einer großen Mehrzahl derselben — 71% der Südgruppe und 55% der Nordgruppe — zwischen 350 und 369 *mm*, hingegen nur in 22·2, beziehungsweise 25% zwischen 370 und 389 *mm* bewegt. Oberhalb oder unterhalb der genannten Grenzzahlen liegt der ganze Sagittalbogen in beiden Gruppen und bei beiden Geschlechtern nur in vereinzelten Fällen. Die Mindestzahlen finden sich an zwei besonders kleinen Weiberschädeln der Nordgruppe, einmal mit 325 und einmal mit 332 *mm* bei einer größten Schädellänge des ersteren von 165, des letzteren von 160 *mm*. Als Höchstzahl des ganzen Sagittalbogens erscheint einmal 399 bei einer größten Schädellänge von 200 *mm* an einem männlichen Schädel der Südgruppe. Außerdem findet sich ein ganzer Sagittalbogen von 393 *mm* einmal an einem Weiberschädel der Südgruppe bei einer größten Länge von 190 *mm* und zweimal an Männern der Südgruppe mit 188 beziehungsweise 193 *mm* größter Länge.

Das Verhältnis der Sehne zu dem ganzen Sagittalbogen stellt sich im allgemeinen zwischen 31 und 39%. Ungefähr ein Drittel der Schädel weist in beiden Gruppen einen Krümmungsindex des ganzen Sagittalbogens von 36 oder 37 auf, während ein etwas kleinerer Index von 34 oder 35 bei den Weibern der Südgruppe an 53%, bei den Männern der Nordgruppe an 45% und bei den Männern der Südgruppe an 37% der Schädel vorkommt. Die Weiberschädel der Nordgruppe weisen die größten Verschiedenheiten auf, insbesondere kommt bei ihnen die Höchst- und Mindestziffer (39 beziehungsweise 31) je zweimal vor.

Verhältnis des ganzen Sagittalbogens zu seiner Sehne.

Sehnenbogenindex		31	32	33	34—35	36—37	38	39
Kub. Süd	70♂	—	5·6%	10·0%	37·2%	30·0%	14·3%	2·9%
» Nord	33♂	—	—	9·1%	45·5%	30·3%	15·1%	—
Kub. Süd	45♀	2·2%	4·5%	4·5%	53·3%	33·3%	2·2%	—
» Nord	2. ♀	10·0%	5·0%	15·0%	30·0%	25·0%	5·0%	10·0%

Soweit dieser Krümmungsindex über das Maß der sagittalen Krümmung des Hirnschädels Aufschluß zu geben vermag, unterliegt dieselbe somit bei den Weibern der Nordgruppe den erheblichsten Schwankungen, und zwar ohne Zusammenhang mit der größten Schädellänge oder der Länge des ganzen Sagittalbogens. Um nur ein paar Beispiele aus der letztgenannten Gruppe anzuführen, besitzen von den verhältnismäßig kleinen Schädeln Nr. 187 und 191, deren ganzer Sagittalbogen nahezu gleich lang ist (350 beziehungsweise 349 *mm*), der erstere einen Krümmungsindex von 39·1, der letztere von 31·2, was auf eine weit stärkere sagittale Krümmung des Hirnschädels bei dem letzteren hinweist. Hingegen besitzt von den verhältnismäßig großen Schädeln Nr. 147 und 138 mit dem ganzen Sagittalbogen von 391 beziehungsweise 363 *mm* der erstere bei seinem Index von 31·7 eine stärkere, der letztere bei dem Index von 39·1 eine entschieden viel flachere sagittale Gesamtkrümmung.

Hinsichtlich der drei Komponenten des ganzen Sagittalbogens kommt es viel weniger auf ihre absoluten als auf ihre relativen Längen an, allerdings sind auch diese in anthropologischer Hinsicht von untergeordnetem Wert, weil zwischen ihnen und der Form des Schädels keinerlei bestimmte Beziehung besteht.

Verhältnis des Stirn- und Hinterhauptbogens zum Scheitelbogen.

	Schädel-zahl	St. B. > Sch. B.	St. B. < Sch. B.	St. B. = Sch. B.	Schädel-zahl	H. H. B. > Sch. B.	H. H. A. < Sch. B.	H. H. B. = Sch. B.
Kub. Süd .	68♂	50·0%	44·1%	5·9%	67	10·4%	89·6%	—
» Nord .	33♂	30·3%	69·7%	—	30	3·3%	93·3%	3·3%
Kub. Süd .	47♀	42·6%	55·3%	2·1%	42	4·8%	92·8%	2·4%
» Nord .	22♀	68·2%	31·8%	—	20	30·0%	65·0%	5·0%

Die absoluten Längen schwanken an dem vorliegenden Material für den Stirnbogen zwischen 111 und 143, für den Scheitelbogen zwischen 101 und 145 und für den Hinterhauptbogen zwischen 98 und 132 *mm*. Die größten Schwankungen finden sich daher am Scheitelbogen. Das Verhältnis des medianen Stirn- zum Scheitelbogen ist bei den Männern der Südgruppe genau gleich dem, welches Schwalbe für die Elsässer Männer gefunden hat, nämlich der Stirnbogen ist in 50% der Schädel größer, hingegen in 44% kleiner als der Scheitelbogen und in 6% der Schädel sind beide Bögen gleich lang. In der Nordgruppe und bei den Weibern der Südgruppe gestalten sich diese Verhältnisse, wie die vorstehende Übersicht zeigt, ganz anders; insbesondere fällt auf, daß bei den Männern der Nordgruppe der Stirnbogen in nahezu 70% der Schädel kleiner, bei den Weibern dieser Gruppe aber in 68% der Schädel größer ist als der Scheitelbogen. Die absoluten Unterschiede der einzelnen Bogenlängen sind in einzelnen Fällen recht erheblich; so ist beispielsweise der Stirnbogen einmal um 27, bei anderen Schädeln um 24, 23, 16, 15 *mm* länger, und umgekehrt ist er einmal um 28, bei anderen Schädeln um 26, 18, 17, 16, 15 *mm* kürzer als der Scheitelbogen, wobei das Geschlecht keinen Einfluß erkennen läßt; häufig beschränken sich diese Differenzen auf wenige Millimeter.

Der Hinterhauptbogen ist in der großen Mehrzahl der Fälle kürzer als der Scheitel- und Hinterhauptbogen, und zwar häufig um ein sehr Beträchtliches (20 bis 41 *mm*). Manchmal, und zwar siebenmal unter 67 Männern der Südgruppe und sechsmal unter 20 Weibern der Nordgruppe, ist er aber größer als der Scheitelbogen, wobei die Differenz bis zu 17 *mm* ansteigt.

Wie ich schon an einer anderen Stelle (Untersuchungen über die Brachykephalie der alpenländischen Bevölkerung [Mitt. d. Wiener Anthrop. Ges., 40. Bd., 1910, p. 205]) hervorgehoben habe, wird die außergewöhnliche Länge oder Kürze einer der Komponenten des Sagittalbogens in ver-

schiedener Weise ausgeglichen. Einzelne Beispiele mögen auch an der vorliegenden Schädelreihe erweisen, daß die absoluten Zahlen nicht nur nach ihrem Verhältnis zu der Größe des Hirnschädels und dem ganzen Sagittalbogen, sondern auch zu den betreffenden beiden anderen Komponenten des letzteren zu beurteilen sind. Die Mindestzahl von 101 *mm* für den Scheitelbogen ist außergewöhnlich klein. Sie findet sich an dem weiblichen Schädel der Nordgruppe Nr. 162, dessen Kubikinhalt nur 1010 cm^3 beträgt. Der Scheitelbogen beläuft sich bei ihm auf 87·1% des Stirnbogens und auf 30·0% des sagittalen Gesamtbogens. Diesen nicht gerade ungewöhnlichen Verhältnissen gegenüber ist jedoch der Hinterhauptbogen verhältnismäßig sehr groß (115 *mm*), so daß die geringe Länge des Scheitelbogens nicht nur durch die Kleinheit der Schädelkapsel bedingt ist, sondern zum Teil durch die größere Länge des Hinterhauptbogens ausgeglichen wird. Anders steht es bei dem ebenfalls kleinen männlichen Schädel Nr. 82 der Südgruppe, dessen Kapazität 1135 cm^3 beträgt und dessen Scheitelbogen so wie bei dem vorigen nur 101 *mm* mißt und 29·5% des gesamten Sagittalbogens ausmacht. Der Scheitelbogen beträgt aber hier nur 79% des Stirnbogens und der Hinterhauptbogen ist um 12 *mm* länger. In diesem Falle ist also die Kompensation zum kleineren Teile durch diesen letzteren, vorzugsweise aber durch die größere Länge des Stirnbogens gegeben. Der ausnehmend kurze Hinterhauptbogen wird bei den Schädeln Nr. 76 und 99 durch entsprechend größere Länge der beiden anderen Komponenten, bei dem Schädel Nr. 118 aber nur durch außergewöhnliche Länge des Scheitelbogens ausgeglichen.

Was die Krümmungsverhältnisse der einzelnen Abschnitte des Sagittalbogens betrifft, so bewegt sich der Krümmungsindex des Stirnbeins zwischen 82·9 und 90; am häufigsten — annähernd in der Hälfte der Schädel beider Gruppen — hält er sich auf 86 oder 87. Ein höherer Index (88 und 89) findet sich häufiger bei den Männern, und zwar in der Südgruppe an 38, in der Nordgruppe an 36% der Schädel, während ein solcher bei den Weibern in der Südgruppe an 24·5, in der Nordgruppe nur an 13·6% der Schädel vorkommt. Ein Krümmungsindex des Stirnbeins von 85 und darunter erscheint hingegen entschieden häufiger bei den Weibern (37% der Schädel in der Südgruppe und 22% in der Nordgruppe) gegenüber den Männern mit 15·7 beziehungsweise 8·4% der Schädel. Dies entspricht dem allgemein zu beobachtenden sexuellen Charakter: flachere Stirn bei den Männern, stärker abgekrümmte bei den Weibern. Dementsprechend finden sich die Höchstzahlen dieses Index 90·0 bis 90·8 unter den Männern der Nordgruppe viermal und zweimal in der Südgruppe, unter den Weibern jedoch nur einmal in der Nordgruppe. Als Mindestzahl kommt einmal 82·9 vor, und zwar unter den Weibern der Nordgruppe.

Der Krümmungsindex des Scheitelbeins schwankt an dem vorliegenden Schädelmaterial zwischen 84·8 und 94·1 und beläuft sich am häufigsten auf 88 und 89. Diese Ziffern finden sich bei den Männern der Nordgruppe in 51·5%, bei den Weibern der Südgruppe in 46·8% und bei den Männern der Südgruppe in 45·6% der Schädel. Nur bei den Weibern der Nordgruppe sind diese Ziffern auf 31·8% der Schädel beschränkt, wohingegen diesen ein Index von 90 und mehr in 50% der Schädel zukommt. Diese Höhe erreicht der Index des Scheitelbeins bei den Männern der Südgruppe in 32·4%, bei den Weibern derselben Gruppe sowie bei den Männern der Nordgruppe in je 21% der Schädel. Unter 87 bleibt dieser Index in 11·8% bei den Männern und in 8·5% bei den Weibern der Südgruppe. In der Nordgruppe findet sich ein so kleiner Index nur an je einem männlichen und einem weiblichen Schädel. Als Höchstzahlen dieses Index erscheinen in der Südgruppe einmal 94·1 bei den Männern und dreimal 92 bei den Weibern; in der Nordgruppe bei den Männern einmal 92·4 und bei den Weibern einmal 93. Die Mindestzahlen sind für die Männer der Südgruppe einmal 84·8 und zweimal 86·1, für die Weiber dieser Gruppe einmal 86·0 und in der Nordgruppe für die Männer einmal 85, für die Weiber einmal 86·6.

Es ist bemerkenswert, daß der Krümmungsindex des Scheitelbeins regelmäßig einen bestimmten Zusammenhang mit der absoluten Länge des Scheitelbogens erkennen läßt, insofern, als einem langen Scheitelbogen ein verhältnismäßig niederer, einem besonders kurzen Scheitelbogen aber ein hoher

Krümmungsindex entspricht. Ähnliches gilt wohl auch von dem Stirnbein, allein bei diesem tritt ein solcher Zusammenhang nicht so regelmäßig in Erscheinung.

Der sagittale Krümmungsindex des Hinterhauptbeins schwankt an dem vorliegenden Schädelmaterial zwischen 75·0 und 93·4, also in bedeutend weiterer Grenze als der des Stirn- und Scheitelbeins. Dies erklärt sich nicht so sehr aus den mannigfachen Formen des gesamten Hinterhauptes, als vielmehr aus der sehr verschiedenen Art der Abkrümmung der Oberschuppe gegen die Unterschuppe, welche bald in flacherem, bald in schärferem Bogen, ja manchmal unter einem annähernd rechten Winkel erfolgt. Der anthropologische Wert dieses Index ist daher nur ein sehr geringer, zumal ja in bezug auf die Form des Hinterhauptes nur der Krümmungsindex der Oberschuppe in Betracht kommt.

Ungeachtet der erheblichen Breite, innerhalb deren sich der Krümmungsindex des Hinterhauptbeins bewegt, stellt er sich doch in der weitaus größten Mehrzahl der Schädel, und zwar in beiden Gruppen sowohl bei den Männern als auch bei den Weibern auf 80 bis 87, wobei auf ungefähr ein Drittel der Schädel der Index 84 und 85 und auf ein Viertel der Schädel der Index von 82 und 83 entfällt. Die ober 87 und unter 80 liegenden Indexzahlen kommen nur vereinzelt, geradezu als Ausnahmen vor, aber sie fehlen in beiden Schädelgruppen weder bei den Männern noch bei den Weibern und ohne daß ein regelmäßiger Zusammenhang mit der Länge des zugehörigen Hinterhauptbogens zu beobachten wäre. Sie sind vielmehr im wesentlichen der Ausfluß einer besonders flachen, beziehungsweise besonders starken Abkrümmung der Oberschuppe gegen die Unterschuppe. Die weitest auseinanderliegenden Grenzzahlen finden sich an den Weiberschädeln der Nordgruppe, und zwar der Index 93·4 bei der geringen Länge des Hinterhauptbogens von 106 *mm* und der Index 75·0 bei der sehr beträchtlichen Bogenlänge von 132 *mm*. An den Weibern der Südgruppe erscheint als höchster Index 91·3 bei der mittelgroßen Bogenlänge von 115 *mm* und als niederster 77·1 bei der annähernd gleichen Bogenlänge von 118 *mm*. Etwas kleiner ist der Abstand der Grenzzahlen bei den Männerschädeln. An diesen findet sich in der Südgruppe als höchster Index 91·4 bei der Länge des Hinterhauptbogens von 116 *mm*, während als niederste Indexzahlen 79·0, 79·6 und 79·7 erscheinen, welchen die Bogenlängen 124, 132 und 123 entsprechen. Bei den Männern der Nordgruppe erscheinen als höchste Indexzahlen je einmal 88·8 und 88·6 bei den Bogenlängen von 116 beziehungsweise 105 *mm*, als niederste Zahlen einmal 80·0 bei der Bogenlänge von 115 *mm* und zweimal 80·8 bei der gleichen Bogenlänge von 120 *mm*.

Es ist nun noch einiges über die beiden Abschnitte der Hinterhauptschuppe, die Ober- und die Unterschuppe, zu sagen, deren Grenze an der Außenfläche des Schädels durch das Inion und die obere Nackenlinie angezeigt ist. Nahezu ausnahmslos ist der Medianbogen der Oberschuppe länger als der der Unterschuppe, und zwar nicht selten um ein sehr Bedeutendes, ja in einzelnen Fällen erreicht er mehr als das Doppelte des Längsbogens der Unterschuppe. Fälle, in welchen die letztere nur 51 bis 60% der Länge der Oberschuppe erreicht, sind in allen vier Abteilungen des vorliegenden Schädelmaterials nicht selten. Nur an zwei Schädeln ist ausnahmsweise der Medianbogen der Unterschuppe länger als der der Oberschuppe, und zwar bei einem männlichen Schädel der Südgruppe, an welchem der Bogen der Unterschuppe 59 und der der Oberschuppe 48 *mm* mißt, und bei einem männlichen Schädel der Nordgruppe, an dem dieses Verhältnis 65 zu 53 *mm* beträgt. In beiden Fällen ist nicht nur die Oberschuppe beträchtlich kürzer als gewöhnlich, sondern zugleich die Unterschuppe außergewöhnlich lang.

Hinsichtlich der Krümmungsverhältnisse ergeben sich zwischen den beiden Abschnitten der Schuppe sehr beträchtliche Verschiedenheiten. Die Unterschuppe erscheint in der Medianebene gewöhnlich ganz flach, so daß der Unterschied zwischen Bogen und Sehne an der Mehrzahl der Schädel nur 1 *mm*, manchmal 2, nur selten 3 oder 4 *mm* beträgt. Der mediane Krümmungsindex der Unterschuppe stellt sich daher zumeist auf 97 bis 98, manchmal auf 95 bis 96 und nur ausnahmsweise sinkt er auf 91 herab. Häufig aber sind Sehne und Bogen gleich lang, d. h. es besteht keine

Krümmung. Hierzu ist jedoch zu bemerken, daß die Unterschuppe in der Mehrzahl der Schädel in ihren seitlichen Anteilen weit stärker gekrümmt ist als in der Mittelebene, indem sie beiderseits von dieser mehr oder weniger nach unten vorgebaucht ist. Alle diese Eigenschaften der Unterschuppe fließen aus dem Umstande, daß sie nicht wie die Oberschuppe in die Calvaria einbezogen ist, sondern als Anteil der Schädelbasis die knöcherne Unterlage für das Kleinhirn bildet.

Die Krümmung der Oberschuppe ist im allgemeinen eine ziemlich flache, ihr sagittaler Krümmungsindex schwankt mit einer einzigen Ausnahme zwischen 88·7 und 98·2. Unter unseren vier Schädelabteilungen nehmen die Weiberschädel der Nordgruppe eine auffallend abweichende Stellung ein. 59% von ihnen weisen den sagittalen Krümmungsindex von 92 oder 93 auf, während ein solcher bei den Männern der Nordgruppe und bei beiden Geschlechtern der Südgruppe nur in 19 bis 25% der Schädel vorkommt. In diesen drei Abteilungen besitzt die relative Mehrheit der Schädel (31 bis 45%) einen Index von 94 oder 95, welcher bei den Weibern der Nordgruppe nur in 18% der Schädel erscheint. Ein Index von 96 oder 97 fehlt bei den Weibern der Nordgruppe, während er sich in den drei anderen Abteilungen in 10 bis 15% der Schädel findet. Hingegen nimmt ein Weiberschädel der Nordgruppe mit dem Krümmungsindex von 100 eine besondere Ausnahmsstellung ein. Abgesehen von diesem erscheinen als Höchstzahlen dieses Index bei den Männern und Weibern der Südgruppe 97·9 beziehungsweise 97·0, bei den Männern der Nordgruppe 98·2. Als Mindestzahlen erscheinen bei den Männern der Nordgruppe 88·7, bei den drei anderen Abteilungen 89 und 90.

Es ist nicht ohne Interesse, auf den Unterschied hinzuweisen, welcher sich zwischen dem vorliegenden, ausschließlich aus curvoccipitalen Schädeln bestehenden Material gegenüber einer Reihe von planoccipitalen Schädeln ergibt. Nach meinen Untersuchungen an 40 planoccipitalen Schädeln der Alpenländer (Mitt. d. Wiener Anthropol. Ges., Bd. XL, 1910) sinkt an diesen der mediane Krümmungsindex der Oberschuppe nicht unter 93·0 herab und bewegt sich dreißigmal, also an 75% der Schädel, zwischen 95 und 98·5. Der Index 100 kommt dreimal an männlichen Schädeln dieser Reihe vor.

Der Horizontalumfang (Tabelle III).

Er hält sich im allgemeinen auf einer mittleren Höhe; annähernd gleichmäßig steigt er mit der größten Schädellänge an, jedoch nicht ohne gewisse Schwankungen, welche sichtlich mit der Schädelbreite zusammenhängen, insofern, als der Horizontalumfang an breiten Schädeln gegenüber der Schädellänge vorauseilt, an schmalen jedoch im Verhältnis zu dieser zurückbleibt.

Von 70 Männern der Südgruppe haben 58·6% einen Horizontalumfang von 500 bis 519 *mm*; bei den übrigen verteilt er sich in der Weise, daß er in 14% der Fälle 520 bis 529, in 11% aber 490 bis 499 und in 8% der Fälle 470 bis 489 *mm* beträgt. Als Mindestzahlen erscheinen je einmal 454 und 469, als Höchstzahl 544 *mm* an einem Schädel von 200 *mm* größter Länge. In derselben Gruppe beläuft sich der Horizontalumfang unter 50 Weibern in 60% der Schädel auf 490 bis 509 *mm*, bei den übrigen in 26% der Fälle auf 470 bis 489 und in 12% auf 510 bis 519 *mm*. Als Höchstzahl erscheint einmal 522 *mm* an einem Schädel mit 190 *mm* größter Länge.

In der Nordgruppe haben unter 35 Männern 45·7% einen Horizontalumfang von 500 bis 519 und 22·9% einen solchen von 520 bis 529 *mm*, hingegen in 20% der Schädel nur 490 bis 499 *mm*. Als Mindestzahlen kommen je einmal 464, 475, 477 und 485 *mm* vor, als Höchstzahl 529 an einem Schädel von 195 *mm* größter Länge. Unter den 20 Weibern der Nordgruppe findet sich in 40% ein Horizontalumfang von 490 bis 509 und in 15% ein solcher von 510 bis 519 *mm*, gegen 20%, welche einen Umfang von 480 bis 489 *mm* besitzen. Die Mindestzahlen sind je einmal 451, 452 und 459 *mm*, die Höchstzahl 521 bei einem Schädel von 188 *mm* größter Länge.

Während also in Hinsicht auf den Horizontalumfang der Schädel der Geschlechtscharakter deutlich hervortritt, indem er bei den Männern im allgemeinen erheblich größer ist als bei den Weibern, besteht zwischen den beiden Gruppen im allgemeinen kein erheblicher Unterschied, indem nur bei den Weibern der Südgruppe höhere Zahlen um weniges häufiger sind als in der Nordgruppe.

Der Querbogen (Transversalbogen) des Hirnschädels (Tabelle III).

Dieser hängt, abgesehen von der Größe des ganzen Schädels, nicht nur mit der Ohrhöhe, sondern mehr noch mit der Breite des Schädels unmittelbar zusammen.

Er bewegt sich in der Südgruppe bei 70 Männern in 34% der Schädel zwischen 290 und 299 und in 33% zwischen 300 und 309 *mm*. In 11% erreicht er 310 bis 319, hingegen in 21% der Schädel nur 272 bis 289 *mm*. Das Höchstmaß von 329 *mm* kommt einmal bei einem besonders breiten Schädel vor. Unter den 49 Weibern der Südgruppe finden sich 30·6% mit dem Querbogen von 290 bis 299 und 14% mit einem solchen von 300 bis 309 *mm*. Hingegen beträgt er in 36·7% der Fälle nur 280 bis 289 und in 10% 272 bis 278 *mm*. Die Mindestzahl von 260 *mm* findet sich einmal bei einem schmalen und niederen Schädel, die Höchstzahl von 320 an einem sehr breiten und hohen Schädel.

In der Nordgruppe weisen die 35 Männer in 34% der Schädel einen Querbogen von 290 bis 299 auf und ebenso viele einen solchen von 300 bis 309 *mm*. An 20% der Schädel beträgt er nur 280 bis 289. Die Mindestzahlen von 265 und 272 finden sich je einmal und ebenso die Höchstzahlen von 312 und 318. Unter den 21 Weibern der Nordgruppe kommen 33% der Schädel mit dem Querbogen von 290 bis 299 und 43% mit einem solchen von 280 bis 289 *mm* vor. Je einmal erscheint die Mindestzahl von 262 und 264 und einmal die Höchstzahl von 299 *mm*.

Während also zwischen den Männern der Süd- und Nordgruppe nahezu vollständige Übereinstimmung herrscht, fallen die Weiber der Nordgruppe selbst gegenüber denen der Südgruppe durch überwiegende Kleinheit des Querbogens auf, der bei ihnen in keinem Falle 300 *mm* erreicht.

Rauminhalt des Hirnschädels (Tabelle IV b).

Herr Regierungsrat Szombathy hatte die Güte, die Bestimmung des Rauminhaltes nach der von ihm vielfach geübten und in den Sitzungsberichten der Wiener Anthropologischen Gesellschaft (1913/14, p. 17) beschriebenen Methode (Erbsenfüllung) an allen hier behandelten Schädeln zu übernehmen, wofür ich ihm zu großem Dank verpflichtet bin. Im ganzen konnte der Rauminhalt an 155 von den hier behandelten Schädeln gemessen werden; er schwankt zwischen 1060 und 1580 cm^3.

Rauminhalt.

Kubikzentimeter		1010—1100	1101—1200	1201—1300	1301—1400	1401—1500	1501—1580
Kub. Süd	68♂	2·9%	8·8%	16·2%	25·0%	39·7%	7·4%
„ Nord	27♂	3·7%	11·1%	14·8%	29·6%	37·0%	3·7%
Kub. Süd	43♀	2·3%	25·6%	27·9%	32·6%	11·6%	—
„ Nord	17♀	11·8%	11·8%	52·9%	17·7%	5·9%	—

Von den 68 männlichen Schädeln der Südgruppe weisen 32, also nahezu die Hälfte, einen Kubikinhalt von mehr als 1400 auf und unter diesen 5 einen solchen zwischen 1501 und 1580. Die 27 Männerschädel der Nordgruppe bleiben nur wenig dagegen zurück, indem 10 von ihnen eine Kapazität von mehr als 1400 cm^3 besitzen; sie steigt jedoch bei diesen nur einmal über 1500 an. Schädel von sehr geringer Kapazität — weniger als 1200 — finden sich unter den Männern in der Südgruppe 5, in der Nordgruppe 4, wobei das Mindestmaß bei den ersteren 1070, bei den letzteren 1090 beträgt. Von den 43 weiblichen Schädeln der Südgruppe besitzen nur 5 einen Kubikinhalt

von 1400 und darüber, wobei das Höchstmaß 1490 beträgt. In der Nordgruppe übersteigt von den 17 Weiberschädeln nur einer das Maß von 1400. Hingegen findet sich eine kleine Kapazität — unter 1200 — bei den Weibern der Südgruppe zwölfmal mit dem Mindestmaß von 1080, bei den Weibern der Nordgruppe viermal mit dem Mindestmaß von 1010 *cm*³. Von den letzteren erscheint übrigens mehr als die Hälfte (52·9%) mit der selbst für das weibliche Geschlecht immerhin sehr mäßigen Kapazität 1201 bis 1300 *cm*³.

Höhenverhältnisse der Schädel.

Absolute Höhe (Tabelle IV a).

Bezüglich der Höhenverhältnisse der Schädel werde ich das Hauptgewicht auf die Ohrhöhe und auf die Gesamthöhe legen, welch letztere von der Ebene des großen Hinterhauptloches senkrecht zum höchsten Punkte des Scheitels gemessen wurde. Die »Basion-Bregmahöhe« werde ich nur berücksichtigen, um nicht ganz aus dem Rahmen des allgemein üblichen Vorgehens zu fallen; sie ist, wie ich an anderer Stelle näher ausgeführt habe, aus verschiedenen Gründen nicht geeignet, einen zutreffenden Ausdruck für die tatsächliche Schädelhöhe zu geben. Die »Ohrhöhe«, welche nach oben auf den höchsten oder annähernd höchsten Punkt des Scheitels zielt, bezeichnet die Höhe der Calvaria, d. i. des Großhirnanteils des Schädels, die »Gesamthöhe« aber, welche aus dieser und dem Grade der Ausladung der Basis nach unten resultiert, ist nicht nur der richtige Ausdruck für die wirkliche (die größte) Schädelhöhe, sondern sie gibt in ihrem Verhältnis zur Ohrhöhe zugleich Aufschluß über die Komponente, welche die Ausladung der Basis nach unten, mit anderen Worten, der Kleinhirnanteil des Schädels zur wirklichen Schädelhöhe beiträgt. Diese Komponente ist keineswegs unwesentlich, denn sie kann bis zu 30% der Schädelhöhe ausmachen; in diesem Verhältnis äußert sich eine nicht unwichtige Eigentümlichkeit des Schädelbaues.

Gesamthöhe. In den absoluten Maßen derselben tritt der Geschlechtscharakter deutlich hervor.

Absolute Gesamthöhe.

	Millimeter.	123—129	130—134	135—139	140—144	145—148
Kub. Süd	70 ♂	4·3%	17·1%	34·3%	32·9%	11·4%
» Nord	33 ♂	—	9·1%	24·2%	57·6%	9·1%
Kub. Süd	45 ♀	6·7%	40·0%	35·6%	17·8%	—
» Nord	19 ♀	10·5%	36·8%	42·1%	10·5%	—

Sie bewegt sich im ganzen zwischen 123 und 148 *mm* und die relative Mehrheit verteilt sich bei den Männern in der Südgruppe ziemlich gleichmäßig zwischen 135 und 144 *mm*, während sie sich in der Nordgruppe ganz überwiegend — mit 57% der Schädel — zwischen 140 und 144 hält. Bei den Weibern schwankt die relative Mehrheit der Schädel zwischen einer Gesamthöhe von 130 und 139, jedoch so, daß innerhalb dieser Grenze in der Nordgruppe die höheren, in der Südgruppe die niedereren Maße die überwiegenden sind. Sehr auffallend ist der Unterschied zwischen den Männern und Weibern der Nordgruppe, indem von den ersteren 57·6% der Schädel, von den letzteren nur 10·5% eine Gesamthöhe von 140 bis 144 *mm* besitzen und umgekehrt nur 9·1% der Männer gegen 36·8% der Weiber sich zwischen 130 und 134 *mm* halten. Ähnliches gilt übrigens auch für die niederste Stufe der Ohrhöhe von 100—109 *mm*, welcher in der Nordgruppe

25·0% der weiblichen und nur 2·8% der männlichen Schädel angehören. Bei den Männern erscheinen als Höchstmaße der Gesamthöhe in der Süd- sowie in der Nordgruppe je einmal 147 und 148, als Mindestmaß in der Südgruppe 124 und in der Nordgruppe 131 *mm*. Unter den Weibern kommen als Höchstmaße in der Südgruppe je einmal 142 und 143 *mm*, in der Nordgruppe je einmal 143 und 144 *mm*, als Mindestmaß in der Südgruppe einmal 123, in der Nordgruppe zweimal 129 *mm* vor.

Absolute Ohrhöhe.

	Millimeter	100—109	110—114	115—119	120—126
Kub. Süd	67 ♂	10·5%	32·8%	44·8%	11·9%
» Nord	36 ♂	2·8%	30·6%	52·8%	13·9%
Kub. Süd	46 ♀	26·1%	47·8%	23·9%	2·2%
» Nord	20 ♀	25·0%	40·0%	35·0%	—

In bezug auf das absolute Maß der Ohrhöhe gruppieren sich unsere Schädel gleichmäßiger als nach der Gesamthöhe, und zwar derart, daß von den Männern der Süd- und Nordgruppe die weitüberwiegende Mehrzahl — über drei Viertel — in den Spielraum von 110 bis 119 *mm* fällt, während nahezu ein Viertel sich auf die höhere (120 bis 126) und auf die niederere Stufe (100 bis 109 *mm*) verteilt, und zwar in der Südgruppe annähernd gleichmäßig, in der Nordgruppe jedoch entschieden zugunsten der höheren Ziffern. Auch bei den Weibern bewegt sich die überwiegende Schädelzahl in dem gleichen Spielraum wie bei den Männern, aber die Maße halten sich, entsprechend dem Geschlechtscharakter durchwegs etwas niedriger. Dies zeigt sich insbesondere daran, daß sowohl in der Nord- als in der Südgruppe die Männer in ihrer verhältnismäßigen Mehrheit eine Ohrhöhe von 115 bis 119 *mm*, die Weiber von 110 bis 114 *mm* aufweisen und bei den letzteren überdies ein Viertel aller Schädel sich in die niederste Zahlenkategorie einreiht; die höchsten Maße (120 bis 126) sind bei den Weibern der Südgruppe nur mit einem Schädel, in der Nordgruppe gar nicht vertreten. Die geringste Ohrhöhe (einmal 100 und einmal 102 *mm*) findet sich bei den Weibern der Südgruppe, die größte (125 und 126) je einmal bei den Männern der Nordgruppe. Das Höchstmaß für die Weiberschädel erscheint in der Südgruppe mit 120, in der Nordgruppe mit 118 *mm*, das Mindestmaß für die Männerschädel in der Südgruppe mit 106, in der Nordgruppe mit 109 *mm*.

Gesamthöhe > Ohrhöhe.

	um Millimeter	17—20	21—25	26—31
Kub. Süd	67 ♂	17·9%	65·7%	16·4%
» Nord	32 ♂	6·3%	65·6%	28·1%
Kub. Süd	44 ♀	27·3%	52·3%	20·4%
» Nord	17 ♀	23·5%	58·8%	17·7%

Der Unterschied zwischen Gesamthöhe und Ohrhöhe beträgt an den vorliegenden Schädeln zwischen 17 und 31 *mm*, und zwar in allen vier Gruppen derselben bei mehr als der Hälfte der Schädel zwischen 21 und 25 *mm*. Auffallend verhalten sich die Männerschädel der Nordgruppe, inso-

fern, als bei ihnen verhältnismäßig häufig eine größere und nur selten eine kleinere Differenz zwischen Gesamthöhe und Ohrhöhe zur Beobachtung kommt. Die größeren Unterschiede finden sich durchschnittlich an Schädeln von sehr bedeutender Gesamthöhe und sind im wesentlichen in der stärkeren Ausladung des hinteren Schädelabschnittes nach unten begründet; sie sind daher als der Ausdruck derselben anzusehen, denn die relative Höhenlage des Ohrpunktes unterliegt kaum sehr belangreichen Schwankungen.

Was die Basion-Bregmahöhe betrifft, so ist sie an den vorliegenden Schädeln in mehr als der Hälfte derselben um 5 bis 8 *mm* kleiner als die Gesamthöhe; in einzelnen Fällen erreicht dieser Unterschied 10—12, einmal bei einem weiblichen Schädel der Nordgruppe sogar 14 *mm*. Ungefähr ein Drittel der Schädel zeigt aber einen geringen Unterschied, indem dieser nur 1 bis 4 *mm* beträgt und an vier Schädeln, bei je zwei Männern und Weibern der Südgruppe sind Basion-Bregmahöhe und Gesamthöhe gleich groß. Die größeren Unterschiede sind in vielen Fällen dadurch bedingt, daß der Scheitel hinter dem Bregma noch bedeutend ansteigt, in anderen Fällen aber dadurch, daß der hintere Abschnitt der Schädelbasis stärker nach unten ausladet. Häufig aber wirken mehrere Umstände zusammen, wie zum Beispiel an dem erwähnten weiblichen Schädel der Nordgruppe (Nr. 158); an diesem steigt der Scheitel hinter dem Bregma noch um 6 *mm* an, zugleich aber liegt das Basion wegen flacher Einstellung der *Pars basilaris* des Grundbeins verhältnismäßig hoch und daraus ergibt sich, daß die Basion-Bregmahöhe um 14 *mm* kleiner ist als die Gesamthöhe. Als Beispiel für ein umgekehrtes Verhalten mag der männliche Schädel der Südgruppe Nr. 64 angeführt werden. An ihm ist der Scheitel ganz flach, das Bregma aber liegt wegen einer leichten Aufwerfung der Kranznaht um 1·5 *mm* höher als der höchste Punkt des hinteren Scheitelabschnittes, während andrerseits das Grundbein ziemlich lang, stark geneigt und an seinem hinteren Ende etwas nach unten abgebogen ist, so daß das Basion verhältnismäßig tief liegt. Alle diese Umstände zusammen erhöhen das Basion-Bregmamaß dieses Schädels derart, daß es gleich ist dem der Gesamthöhe desselben. An einem anderen sehr großen, aber auffallend niederen männlichen Schädel (Nr. 165) der Nordgruppe ist die an sich mäßige Basion-Bregmahöhe (134 *mm*) gleich der Gesamthöhe, aber um 20 *mm* größer als die Ohrhöhe.

Relative Höhenverhältnisse (Tabelle IV b).

Ist man über Wert und Bedeutung der gebräuchlichen Höhenmessung am Schädel im klaren, so erhebt sich die weitere Frage, auf welcher Grundlage eine bestimmte Reihe von Schädeln in bezug auf ihre Höhenverhältnisse am zweckmäßigsten zu vergleichen und zu gruppieren ist. Daß zu diesem Zwecke die Verwendung der gebräuchlichen, auf ein lineares Schädelmaß (Länge, Breite) bezogenen Höhenindexe nicht in wünschenswerter Weise entsprechen kann, ergibt sich schon aus den einfachsten theoretischen Erwägungen. Der Wert dieser Indexe beschränkt sich darauf, daß sie dazu beitragen, die Bauart des einzelnen Schädels näher zu kennzeichnen.

Die einzig richtige Grundlage für die Darstellung der Höhenverhältnisse einer Schädelreihe scheint mir der Rauminhalt der Schädel zu bieten, und zwar namentlich auch aus dem Grunde, weil es mir vor allem wichtig erscheint, die Höhenmaße in direkte Beziehung zur Größe der Schädel zu bringen. Ich verkenne keineswegs die mannigfachen Fehlerquellen dieser Methode, allein dem erzielten Vorteil gegenüber scheinen sie mir nicht allzusehr von Belang zu sein. Ich habe mich dabei an das Vorgehen J. Szombathys[1] gehalten, nach welchem die Schädelmaße gleichmäßig auf einen Schädelinhalt von 1000 cm^3 reduziert (nach der Formel $\frac{10\,n}{\sqrt[3]{\text{Kub. Inh.}}}$) und so an Stelle der absoluten Maße relative eingesetzt werden. Die von Szombathy entworfenen Umrechnungstabellen[2] bieten hier-

[1] J. Szombathy, Über relative Schädelmaße und ihre Anwendung. Mitt. d. Wiener Anthropolog. Ges., Bd. 48, 1918, p. 177.

[2] J. Szombathy, Kraniometrische Umrechnungstabellen. Ergänzungsheft zu den Mitt. d. Wiener Anthropolog. Ges. Bd. 48. 1918.

für ein sehr handliches Hilfsmittel. Auch bezüglich der Abgrenzung der verschiedenen Höhenstufen habe ich mich an Szombathy gehalten. Gemäß der so wesentlich verschiedenen Bedeutung der Ohrhöhe und der Gesamthöhe des Schädels muß sich die Vergleichung selbstverständlich auf diese beiden Maße erstrecken, kann jedoch von dem Basion-Bregmamaß absehen. Denn dieses als »Hilfshöhe« zu verzeichnen, wie es die Frankfurter Verständigung vorsieht, wäre ebenso unrichtig, als wie dieses Maß den Beschlüssen der Konferenz von Monaco zufolge, als »größte Höhe der Hirnkapsel« zu nehmen.

Auf Grund der relativen Gesamthöhe gruppieren sich unsere Schädel, wie die nachstehende Übersicht zeigt, in folgender Weise:

Nach der relativen Gesamthöhe.

		Relative Gesamthöhe in Millimetern																				
		Nieder			Mittel				Hoch				Sehr hoch									
Millimeter		117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
Kub. Süd .	68♂	—	1	6	1	3	7	5	9	11	10	7	5	1	1	1	—	—	—	—	—
		7 = *10·3*%			16 = *23·5*%				37 = *54·4*%				8 = *11·8*%								
» Nord .	26♂	—	1	—	—	—	1	4	3	2	2	5	—	4	—	1	1	—	1	—	1
		1 = *3·9*%			5 = *19·2*%				12 = *46·2*%				8 = *30·8*%								
Kub. Süd .	41♀	—	1	2	3	5	4	5	7	5	1	1	2	2	1	1	—	—	1	—	—
		3 = *7·3*%			17 = *41·5*%				14 = *34·2*%				7 = *17·1*%								
» Nord .	15♀	1	—	—	—	1	1	3	—	2	1	2	2	—	—	2	—	—	—	—	—
		1 = *6·7*%			5 = *33·3*%				5 = *33·3*%				4 = *26·7*%								

Faßt man die Zahl der »hohen« und »sehr hohen« Schädel zusammen, so liegt die Mehrzahl der Schädel allenthalben über der Mittelhöhe; und zwar sind dies bei den Männern der Nordgruppe 77·0%, bei den Weibern der Südgruppe aber nur 51·3%. Von den Männern der Südgruppe halten sich 66·2% und von den Weibern der Nordgruppe 60·0% über der Mittelhöhe.

Schädel, welche hinsichtlich ihrer relativen Gesamthöhe als »sehr hoch« zu bezeichnen sind, kommen in der Nordgruppe zu einem größeren Prozentsatz vor (30·8% bei den Männern und 26·7% bei den Weibern), als in der Südgruppe, in welcher diese nur mit 11·8, beziehungsweise 17·1% vertreten sind. Als »hoch« hingegen erscheinen die männlichen Schädel in beiden Gruppen zahlreicher (in der Südgruppe mit 54·4, in der Nordgruppe mit 46·2%) als die weiblichen (mit 34·2 beziehungsweise 33·3%). »Mittelhohe« Schädel finden sich bei den Weibern der Nordgruppe in dem gleichen Prozentsatz wie die »hohen«, bei den Weibern der Südgruppe in noch größerer Zahl (41·5%), während sie bei den Männern nur 19·2 beziehungsweise 23·5% ausmachen. Schädel, welche ihrer relativen Gesamthöhe nach niedere sind, kommen nur vereinzelt vor, am häufigsten bei den Männern der Südgruppe mit 10·3%.

Nach der relativen Ohrhöhe.

		Relative Ohrhöhe in Millimetern																	
		Nieder					Mittel				Hoch				Sehr hoch				
	Millimeter	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
Kub. Süd	65 ♂	—	3	4	4	6	9	9	9	8	8	2	2	—	1	—	—	—	—
		17 = *26·2* %					35 = *53·9* %				12 = *18·5* %				1 = *1·5* %				
» Nord	26 ♂	—	—	—	3	3	4	4	3	1	3	1	1	—	—	1	—	1	1
		6 = *23·1* %					12 = *46·2* %				5 = *19·2* %				3 = *11·5* %				
Kub. Süd	40 ♀	3	2	3	5	2	8	2	4	6	1	3	—	—	1	—	—	—	—
		15 = *37·5* %					20 = *50·0* %				4 = *10·0* %				1 = *2·5* %				
» Nord	16 ♀	—	—	—	—	2	3	3	3	2	1	1	1	—	—	—	—	—	—
		2 = *12·5* %					11 = *68·8* %				3 = *18·7* %				—				

In bezug auf die relative Ohrhöhe ergibt sich eine ganz andere Gruppierung unserer Schädel. Der Mehrzahl nach erscheinen sie als »mittelhoch«, und zwar sind dies von den Männern in der Südgruppe 53·9 %, in der Nordgruppe 46·2 % und von den Weibern in der Südgruppe 50·0 %, in der Nordgruppe 68·8 %. Nebst diesen kommen in erheblicher Zahl »niedere« Schädel vor, die meisten (37·5 %) unter den Weibern der Südgruppe, jedoch nur 12·5 % bei den Weibern der Nordgruppe. Schädel, welche ihrer relativen Ohrhöhe nach als »hoch« und »sehr hoch« zu bezeichnen sind, finden sich in einem beträchtlichen Prozentsatz (30·7 %) nur bei den Männern der Nordgruppe, während sie bei den Weibern der Südgruppe nur 12·5 % ausmachen. »Sehr hohe« Schädel kommen in einem ansehnlichen Prozentsatz (11·5 %) nur unter den Männern der Nordgruppe vor, bei den Weibern dieser Gruppe fehlen sie gänzlich.

Die Vergleichung der vorliegenden Schädel rücksichtlich ihrer relativen Gesamthöhe und Ohrhöhe führt also im wesentlichen zu dem Ergebnis, daß auf Grund der relativen Ohrhöhe die große Mehrzahl der Schädel zu den »mittelhohen« und »niederen« gehört, während auf Grund der relativen Gesamthöhe die hohen Schädel weitaus überwiegen. Dies besagt, daß an der bedeutenden Mehrheit der Schädel der obere, der Großhirnanteil, mittelhoch oder nieder ist, daß aber ein großer Prozentsatz der Schädel infolge stärkerer Ausladung ihres unteren, des Kleinhirnanteiles, eine sehr beträchtliche Gesamthöhe erreicht. Das letztere kommt verhältnismäßig häufiger in der Nordgruppe und namentlich bei den Männern derselben vor.

Der Basalteil des Schädels (Tabelle V).

Für kraniometrische Zwecke kann der Basalteil des Schädels nach oben nur in einer Ebene abgegrenzt werden, deren Lage durch die Nasion-Inionlinie bestimmt wird — einer Ebene, welche mit der Frankfurter Horizontalen einen nach vorne offenen, spitzen, zwischen 8 und 15 ° schwankenden Winkel einschließt und diese noch im Bereich des Schädels oder mehr oder weniger weit hinter demselben durchschneidet. Der Basalteil des Schädels umfaßt daher den äußeren und inneren Schädelgrund, Basis cranii externa und interna, im Sinne der Anatomie. Der innere Schädelgrund hat vorn

an der Siebplatte des Siebbeines, hinten am oberen Rand des Sulcus transversus seine Grenze; der äußere Schädelgrund ist vorn durch die Anfügung des Gesichtsskelettes verdeckt und liegt nur hinter den Choanen frei vor. Daß der Schädelgrund durch eine dem Basion entsprechende Frontalebene in einen vorderen und hinteren Anteil geteilt wird, welche im allgemeinen dem prae- und postauralen Schädelabschnitt entsprechen, ist schon oben (p. 10) bemerkt worden.

Das Maß der Nasion-Inionlinie schwankt in weiten Grenzen. Es bewegt sich

an 71 ♂	Schädeln der	Südgruppe	zwischen	152	und	182 *mm*
» 37 ♂	»	» Nordgruppe	»	158	»	188 *mm*
» 50 ♀	»	» Südgruppe	»	147	»	177 *mm*
» 22 ♀	»	» Nordgruppe	»	148	»	179 *mm.*

Dazu ist zu bemerken, daß das kleinste Maß von 147 *mm* an einem etwa 15 bis 16 Jahre alten weiblichen Schädel (Nr. 99) und das Maß von 148 an einem ausgewachsenen, sehr kleinen weiblichen Schädel (Nr. 191) von nur 1050 *cm* Kubikinhalt vorkommt, hingegen die höchsten Maße (185 und 188 *mm*) sich an sehr langen männlichen Schädeln (Nr. 146 mit 190 und Nr. 186 mit 195 *mm* größter Schädellänge) finden, wie überhaupt der Geschlechtscharakter durch das durchschnittlich bedeutend höhere Maß der Nasion-Inionlinie bei den männlichen Schädeln sehr auffallend hervortritt.

Länge der Basis (Nasion-Inionlinie)					Größte Breite der Basis				
Millimeter	Kub. Süd		Kub. Nord		Millimeter	Kub. Süd		Kub. Nord	
	71♂	50♀	37♂	22♀		70♂	50♀	37♂	22♀
147—151	—	2·0%	—	4·6%	102—105	2·9%	2·0%	5·4%	9·1%
152—157	4·2%	22·0%	—	22·7%	106—110	17·1%	32·0%	10·8%	50·0%
158—162	15·5%	22·0%	18·9%	27·3%	111—115	18·6%	42·0%	29·7%	31·8%
163—168	16·9%	40·0%	29·7%	22·7%	116—120	38·6%	22·0%	43·2%	9·1%
169—172	33·8%	8·0%	29·7%	9·1%	121—126	22·9%	2·0%	10·8%	—
173—177	23·9%	6·0%	10·8%	9·1%					
178—182	5·6%	—	5·4%	4·6%					
183—188	—	—	5·4%	—					

Bei den Männern liegt die Nasion-Inionlinie in der Südgruppe an 24 Schädeln zwischen 169 und 172 *mm* und daran anschließend an 17 Schädeln zwischen 173 und 177 *mm*, während 11 beziehungsweise 12 Schädel sich in die Stufen von 158 bis 162 und von 163 bis 168 *mm* einreihen. In der Nordgruppe jedoch fallen je 11 Schädel in die Stufen von 169 bis 172 und von 163 bis 168 *mm.* Bei den Weibern liegt sie in der Südgruppe an 20 Schädeln zwischen 163 und 168 *mm* und an je 11 Schädeln in den Stufen von 158 bis 162 und von 152 bis 157 *mm*; hingegen verteilen sich in der Nordgruppe 6 Schädel zwischen 158 und 162 *mm* und je 5 auf den Stufen von 152 bis 157 und von 153 bis 168 *mm.*

Selbstverständlich nimmt die Nasion-Inionlinie im allgemeinen mit der größten Länge der Schädel zu; im einzelnen jedoch ergeben sich darin mancherlei nicht unerhebliche Abweichungen, und zwar in beiden Gruppen und bei beiden Geschlechtern in annähernd gleicher Weise. Im ganzen

schwankt der Unterschied zwischen 3 und 29 *mm*; am häufigsten aber, und zwar nahezu an der Hälfte der Schädel (45·5 bis 48·7 %) bleibt die Nasion-Inionlinie um 13 bis 18 *mm* gegenüber der größten Länge des Schädels zurück. Größere Unterschiede (20—24 *mm*) kommen in der Südgruppe an 12 % der Schädel, in der Nordgruppe an je 1 männlichen und weiblichen Schädel vor. Ganz ausnahmsweise beträgt der Unterschied zugunsten der größten Schädellänge an dem weiblichen Schädel Nr. 87, dessen Hinterhaupt sehr stark vorgewölbt ist, 29 *mm*. Nicht selten aber ist der Unterschied nicht sehr bedeutend, indem er sich in ungefähr 36 Prozent der Schädel auf 8—12 *mm* stellt und in vereinzelten Fällen nur 3—6 *mm* beträgt.

Ausschlaggebend für diese Verhältnisse ist hauptsächlich der Grad der Vorwölbung des Hinterhauptes gegenüber dem Inion, während der Grad der Einsenkung der Nasenwurzel gegenüber dem Glabellarpunkte eine mehr nebensächliche Rolle spielt.

Die größte Breite der Basis (hintere Breite der Basis) wurde ober der Mitte der äußeren Ohröffnung, an der leistenartig vortretenden hinteren Wurzel des Jochbogens gemessen. Die Ausbildung dieser Leiste ist allerdings ziemlich verschieden und in einzelnen Fällen erscheint sie sogar ganz flach; im großen und ganzen aber dürfte der Einfluß dieser individuellen Variationen kaum von erheblichem Belang sein.

An unserem Schädelmaterial erscheint die größte Breite der Basis im allgemeinen in der Südgruppe mit etwas höheren Maßen als in der Nordgruppe, was übrigens in beiden Gruppen mehr bei den männlichen als bei den weiblichen Schädeln zum Ausdruck kommt. In der Nordgruppe beträgt das Höchstmaß bei den Männern 122, bei den Weibern 116 *mm*, während es in der Südgruppe bei den Männern bis 126, bei den Weibern bis auf 121 *mm* ansteigt. Die Mindestzahlen belaufen sich bei den Männern der Südgruppe sowie bei den Weibern der Nordgruppe auf 102 *mm*, bei den Männern der Nordgruppe auf 104 und bei den Weibern der Südgruppe auf 105 *mm*. Die Schwankung dieses Maßes ist daher in der Südgruppe erheblich größer als in der Nordgruppe, und zwar am größten bei den Männerschädeln der ersteren (24 *mm*) am kleinsten bei den Weiberschädeln der letzteren Gruppe (14 *mm*). In der relativen Mehrheit der Schädel liegt die Basisbreite bei den Männern zwischen 116 und 120 *mm* (43·2 % in der Nordgruppe, 38·6 % in der Südgruppe), während von den Weibern der Nordgruppe sich 50·0 % zwischen 106 und 110 *mm* und von den Weibern der Südgruppe 42 % zwischen 111 und 115 *mm* bewegen.

Ganz im allgemeinen fallen sowohl bei den Männern als wie bei den Weibern die kleineren Werte der Basisbreite mit den kleineren Ziffern der Nasion-Inionlinie zusammen und umgekehrt, jedoch kommen darin sehr beträchtliche Ausnahmen vor.

Recht erheblich schwankt auch das Verhältnis der größten Breite der Basis zur größten Schädelbreite, und zwar im allgemeinen zugunsten der letzteren um 11 bis 30 *mm*. In einzelnen Fällen steigt die Differenz bis 36 *mm* an, während sie in einem Falle nur 6 *mm* beträgt. Verhältnismäßig am häufigsten (in 40 % der Schädel) beträgt sie 16 bis 22 *mm*. Es ist nicht zu verkennen, daß dieses Verhältnis unmittelbar mit dem Gesamtbau des Schädels zusammenhängt. Die größten Differenzen finden sich an Schädeln mit stark vortretenden Scheitelhöckern, flachem Scheitel und konvergent nach unten verlaufenden Seitenwänden. Die kleinsten Differenzen kommen hingegen an Schädeln mit dachförmig abfallendem Scheitel, wenig ausgebildeten Scheitelhöckern und annähernd parallel eingestellten Seitenwänden zur Beobachtung.

Der Längen-Breitenindex der Basis bewegt sich innerhalb der verhältnismäßig engen Grenzen von 61·9 bis 75·8, und zwar ziemlich gleichmäßig bei den Männern und Weibern der beiden Gruppen, wie auch bezüglich der Höhe desselben sich nur geringfügige Unterschiede ergeben.

Weitaus am häufigsten (in 56·8 bis 60·0 % der Schädel) liegt dieser Index zwischen 65 und 69, während 27 bis 34 % der Schädel auf die höhere Indexstufe von 70 bis 74 entfallen. Darüber hinaus steigt der Index nur an zwei männlichen (auf 75·5 und 76·1) und an einem weiblichen Schädel

der Südgruppe (auf 75·8) an. Hingegen kommen kleinere Indexzahlen in der Südgruppe nur selten vor, und zwar die Zahl 63 und 64 in 7·1 % der Männer und in 4·0 % der Weiber, während sie in der Nordgruppe etwas häufiger sind, und der Index bei den männlichen und weiblichen Schädeln je einmal auf 62 und bei zwei männlichen auf 61·9 herabsinkt.

Längen-Breitenindex der Basis.

Index	Kub. Süd		Kub. Nord	
	70♂	50♀	37♂	22♀
61—64	7·1 %	4·0 %	16·2 %	13·6 %
65—69	60·0 %	60·0 %	56·8 %	59·1 %
70—74	30·0 %	34·0 %	27·0 %	27·3 %
75—76	2·9 %	2·0 %	—	—

Das Verhältnis zwischen dem Längen-Breitenindex der Basis und dem des Schädels hängt naturgemäß mit den Differenzen der betreffenden Maße zusammen. Im allgemeinen ist der Unterschied zwischen den beiden Indexen an jenen Schädeln groß, an denen die Nasion-Inionlinie verhältnismäßig lang und zugleich die Breite der Basis verhältnismäßig gering ist. Kleine Indexe ergeben sich unter den umgekehrten Verhältnissen.

An dem vorliegenden, im ganzen aus 179 in Betracht kommenden Schädeln bestehenden Material ist der Längen-Breitenindex der Basis nur in drei Fällen größer als der des Schädels, und zwar an einem männlichen Schädel der Südgruppe (Nr. 2) um 3·3, an einem weiblichen Schädel dieser Gruppe (Nr. 66) um 0·3 und an einem männlichen der Nordgruppe (Nr. 190) um 0·2 Einheiten. In allen übrigen Fällen überwiegt der Längen-Breitenindex des Schädels, und zwar im allgemeinen um 0·4 bis 16·6 Einheiten. Als kleinste Differenzen zwischen den beiden Indexen erscheinen im ganzen sechsmal 0·2 bis 0·9 und 16 mal 1 bis 1·9. Die größten Differenzen von 16·6 und 14·8 finden sich je einmal bei den Männern der Südgruppe; im übrigen belaufen sie sich 14 mal auf 10·4 bis 12·6 Einheiten. Am häufigsten (96 mal) bewegt sich die Differenz zwischen 4·1 und 8·8 Indexeinheiten.

Die Asterionbreite.

Sie schwankt an den 171 Schädeln, an denen sie gemessen werden konnte, zwischen 93 und 116 *mm*. An der Mehrzahl der Schädel hält sie sich in beiden Gruppen auf 102 bis 106 *mm*, und zwar in der Südgruppe bei beiden Geschlechtern in 43 %, in der Nordgruppe bei den Männern in 38 und bei den Weibern in 36 % der Schädel. Es zeigt sich jedoch ein auffallender Geschlechtsunterschied insofern, als bei den Männern die höhere Stufe von 107 bis 111 *mm* und die niederere von 97 bis 101 *mm* annähernd gleich stark vertreten sind (28·4 beziehungsweise 22·4 % in der Südgruppe und 23·5, beziehungsweise 26·5 % in der Nordgruppe), während bei den Weibern eine viel größere Zahl der Schädel in die niederere Stufe von 97 bis 101 *mm* (33·3 % in der Süd- und 36·4 % in der Nordgruppe) fällt, als wie in die höhere Stufe von 107 bis 111 *mm*, welcher in der Südgruppe 14·6 % und in der Nordgruppe nur 2·9 % der Schädel angehören. Die höchsten und die niedersten Maße der Asterionbreite kommen in beiden Gruppen bei beiden Geschlechtern nur ganz vereinzelt vor.

In ihrem Verhältnis zur größten Breite der Basis gibt die Asterionbreite ein Maß für die hinter dem Ohr einsetzende Verschmälerung des Schädels in seinem Hinterhauptanteil an die Hand. In ungefähr der Hälfte aller Schädel bewegt sich diese Verhältniszahl zwischen 88 und 92. Eine stärkere Verschmälerung kommt im allgemeinen etwas häufiger bei den Männern als bei den Weibern vor, weshalb die Verhältniszahl beider Maße bei den letzteren in der Nordgruppe in keinem Falle, in der Südgruppe nur in 14 % der Schädel unter 88 herabsinkt, während dies bei den Männern in der Nordgruppe bei 35·3 % und in der Südgruppe bei 32·9 % der Schädel vorkommt. Gleich oder nahezu gleich groß sind die beiden Maße je zweimal bei den Weibern und je einmal bei den Männern der beiden Gruppen. Ausnahmsweise, an dem kleinen männlichen Schädel der Südgruppe Nr. 65, ist die Asterionbreite um 1 *mm* größer als die größte Breite der Basis.

Das große Hinterhauptloch (Tabelle V).

Seine Durchmesser weisen in der großen Mehrzahl unserer Schädel mittlere Ausmaße auf, und zwar hinsichtlich der Länge zwischen 33 und 36 und hinsichtlich der Breite 28 bis 30 *mm*.

Großes Hinterhauptloch.

		Länge in Millimetern						Breite in Millimetern			
		28—32	33—36	37—39	40—41			25—27	28—30	31—33	34—35
Kub. Süd	64♂	17·2 %	59·4 %	20·3 %	3·1 %	Kub. Süd	64♂	28·1 %	45·3 %	25·0 %	1·6 %
	42♀	9·5 %	85·7 %	4·8 %	0		42♀	31·0 %	47·6 %	21·4 %	0
» Nord	32♂	12·5 %	62·5 %	25·0 %	0	» Nord	32♂	9·4 %	71·9 %	18·8 %	0
	18♀	39·0 %	55·6 %	5·6 %	0		19♀	36·8 %	47·4 %	11·1 %	5·6 %

		Index				
		71—76	77—82	83—88	89—94	95—100
Kub. Süd	63♂	11·1 %	42·9 %	25·4 %	19·1 %	1·6 %
	40♀	15·0 %	32·5 %	35·0 %	10·0 %	7·5 %
» Nord	31♂	6·3 %	29·0 %	48·4 %	16·1 %	0
	18♀	0	33·3 %	38·9 %	27·8 %	0

Nach diesem Maßstab kommt ein mittellanges Hinterhauptloch in der Südgruppe bei den Männern in 59·4, bei den Weibern in 85·7 % der Schädel, in der Nordgruppe bei 62·5 % der männlichen und 55·6 % der weiblichen Schädel vor. Mittelbreit ist das Hinterhauptloch an 45·3 % der männlichen und an 47·6 % der weiblichen Schädel der Südgruppe sowie an 71·9 % der männlichen und an 47·4 % der weiblichen Schädel der Nordgruppe. Ein langes Hinterhauptloch (37 bis 39 *mm*) findet sich viel häufiger bei den Männern, und zwar in der Südgruppe an 20·3 % gegenüber 4·8 % bei den Weibern und in der Nordgruppe an 25·0 % der Männer gegenüber 5·6 % der Weiber. Sehr lang (40 bis 41 *mm*) ist es nur an zwei Männern der Südgruppe. Ein breites Hinterhauptloch (31 bis 33 *mm*) haben in der Südgruppe 25·0 % der Männer und 21·4 % der Weiber, in der Nordgruppe 18·8 % der Männer und 11·1 % der Weiber. Sehr breit (34 bis 35 *mm*) ist es nur an einem männlichen Schädel der Südgruppe und an einem weiblichen der Nordgruppe. Ein kurzes Hinterhauptloch

(28 bis 32 *mm*) kommt in der Südgruppe an 17·2% der Männer und an 9·5% der Weiber, in der Nordgruppe an 12·5% der Männer und an 39·0% der Weiber vor. Ein schmales Hinterhauptloch (25 bis 27 *mm*) findet sich in der Südgruppe an 28·1% der männlichen und an 31·0% der weiblichen Schädel, in der Nordgruppe an 9·4% der männlichen und an 36·8% der weiblichen Schädel. Bemerkenswert ist daher das verhältnismäßig häufige Vorkommen eines kurzen sowie eines schmalen Hinterhauptloches an den weiblichen Schädeln der Nordgruppe.

Besonders groß erscheint das Hinterhauptloch an dem männlichen Schädel der Südgruppe Nr. 60 (mit 41 *mm* Länge und 35 *mm* Breite), sehr groß auch an einem männlichen und einem weiblichen Schädel der Südgruppe mit 40/32 beziehungsweise 39/31 sowie an einem weiblichen Schädel der Nordgruppe (38/34). Auffallend klein ist es an drei männlichen und einem weiblichen Schädel der Südgruppe (28/26, 29/27, 29/29 und 31/27) sowie in der Nordgruppe an einem männlichen (30/27) und an zwei weiblichen Schädeln (29/27, 31/26).

Der Index des Hinterhauptloches bewegt sich nahezu gleich häufig zwischen 77 und 82 als wie zwischen 83 und 85, und zwar sind dies im ganzen 107 von 152 Schädeln, also 70·4%. Ein sehr hoher Index (95 bis 100) kommt im ganzen viermal vor und ebenso oft ein außergewöhnlich kleiner Index (71 bis 73). Auffallende Formen des großen Hinterhauptloches erscheinen an dem männlichen Schädel Nr. 52 der Südgruppe, an welchem es geradezu kreisrund und zugleich sehr klein ist (29/29), und andrerseits ist es außergewöhnlich langgestreckt an einem männlichen und einem weiblichen Schädel der Südgruppe sowie an zwei männlichen der Nordgruppe, in welchen die Breite weniger als drei Viertel der Länge beträgt (Index 71·4 bis 73·7).

B. Gesichtsanteil des Schädels.

Der Gesichtsanteil ist leider an vielen Schädeln so unvollständig erhalten, daß bezüglich eines erheblichen Bruchteiles des vorliegenden Schädelmaterials über seine nähere Beschaffenheit nichts oder nur wenig ausgesagt werden kann. Namentlich fehlt sehr vielen der Unterkiefer. Von den 121 in die Untersuchung einbezogenen Schädeln der Südgruppe haben 74 (davon 47 ♂ und 27 ♀) ein gut erhaltenes oder befriedigend restauriertes Obergesicht, während von den 59 Schädeln der Nordgruppe nur 30 (18 ♂, 12 ♀) ein solches besitzen. Einzelne oder mehrere Maße konnten an 47 Schädeln der Südgruppe (27 ♂, 20 ♀) und an 29 Schädeln der Nordgruppe (19 ♂, 10 ♀) erhoben werden. Der Unterkiefer ist in der Südgruppe nur an 8 Schädeln (5 ♂, 3 ♀) vorhanden, in der Nordgruppe jedoch an 36 (25 ♂, 11 ♀).

Höhen- und Breitenverhältnisse des Gesichtsschädels (Tabelle VI).

Obergesicht. Sowohl Höhe als Breite des Obergesichtes weisen dem allgemeinen Geschlechtscharakter gemäß bei den Männern im allgemeinen erheblich größere absolute Maße auf als bei den Weibern.

Bei 92 Männern erscheint die Obergesichtshöhe elfmal mit 75 *mm* und mehr und bleibt nur siebenmal unter 65 *mm*, während sie bei 55 weiblichen Schädeln nur einmal 76 *mm* erreicht, hingegen elfmal unter 65 *mm* bleibt. Ähnlich verhält es sich auch in den mittleren Maßstufen, indem die Stufe von 70 bis 74 *mm* nahezu von der Hälfte der männlichen, aber nur von einem Sechstel der weiblichen Schädel erreicht wird, während von den männlichen Schädeln nur ein Drittel, von den weiblichen hingegen drei Fünftel in die nächst niederere Maßstufe von 65 bis 69 *mm* fallen.

Nord- und Südgruppe zeigen hinsichtlich der Obergesichtshöhe keine sehr erheblichen Unterschiede. Im ganzen schwankt sie zwischen 78 und 55 *mm*. Als Höchstmaße erscheinen einmal 78

und dreimal 77 *mm*, und zwar sämtlich bei Männern der Südgruppe; als Mindestmaße sind bei den Weibern der Südgruppe zweimal 55 und einmal 56 *mm*, bei den Männern einmal 60, einmal 62 und viermal 63 *mm* verzeichnet.

		Obergesichtshöhe in Millimetern					Jochbogenbreite in Millimetern			
		bis 64·9	65—69	70—74	75 und mehr		bis 120	121—125	126—130	131 und mehr
Kub. Süd . .	63♂	7·9%	33·3%	44·4%	14·3%	55♂	23·6%	23·6%	36·4%	16·4%
» Nord . .	29♂	6·9%	34·5%	51·7%	6·9%	26♂	15·4%	42·3%	23·1%	19·2%
Kub. Süd . .	40♀	20·0%	62·5%	15·0%	2·5%	32♀	53·1%	43·8%	3·1%	0 %
» Nord . .	15♀	20·0%	60·0%	20·0%	0	15♀	73·3%	26·7%	0	0

Die Breite des Obergesichtes, durch die Jochbogenbreite ausgedrückt, bewegt sich im ganzen zwischen 108 und 138 *mm*; die Ziffern von 131 und mehr kommen jedoch nur bei Männern, und zwar unter 81 Schädeln 14mal, vor, und auch die Breite von 126 bis 130 *mm* erscheint an 26 von den männlichen und nur einmal unter 47 weiblichen Schädeln. Hingegen findet sich eine Jochbogenbreite von 120 und weniger an drei Fünfteln der weiblichen und nur an einem Fünftel der männlichen Schädel, während die Breitenstufe von 121 bis 125 bei beiden Geschlechtern annähernd gleichmäßig mit ungefähr einem Drittel der Schädel vertreten ist.

Im allgemeinen weist die Nordgruppe entschieden kleinere Breitenmaße auf und namentlich sind in ihr auch die Mindestmaße je einmal mit 108, 109 und 110 *mm* enthalten. Die Höchstmaße von 137 und 138 *mm* kommen je einmal bei den Männern der Südgruppe vor.

Obergesichtsindex (Kollmann).

		Chamaeprosope	Leptoprosope		
	Index	45—50·0	50·1—54·9	55·0—59·9	60·0—63
Kub. Süd	51♂	4 = *7·8%*	12 = *23·5%*	27 = *52·9%*	*8 = 15·7%*
			47 = *92·2%*		
» Nord	22♂	2 = *9·1%*	8 = *36·4%*	9 = *40·9%*	3 = *13·6%*
			20 = *90·9%*		
Kub. Süd	28♀	2 = *7·1%*	7 = *25·0%*	18 = *64·3%*	1 = *3·6%*
			26 = *92·9%*		
» Nord	14♀	0	2 = *14·3%*	11 = *78·6%*	1 = *7·1%*
			14 = 100%		

Nach den Ergebnissen der hier verzeichneten Messungen läßt sich sagen, daß die Obergesichtshöhe unserer Schädel nicht wesentlich von den im allgemeinen erhobenen Durchschnittsmaßen abweicht, während die Jochbogenbreite gegenüber dem Durchschnitt entschieden zurücksteht. Dies kommt natürlich auch in dem Obergesichtsindex zum Ausdruck.

Dem Obergesichtsindex (nach Kollmann) zufolge ist weitaus die größte Mehrzahl der vorliegenden Schädel schmalgesichtig. Die Breitgesichtigen erreichen in keiner Gruppe 10% der zugehörigen Schädel und fehlen vollständig unter den Weibern der Nordgruppe. Den höchsten Grad von Chamäprosopie erreicht der männliche Schädel Nr. 2 der Südgruppe mit dem Obergesichtsindex von 45·5.

Aber auch in die niederen Grade der Leptoprosopie, welche man unter der Bezeichnung Mesoprosopie zusammenfassen kann (Index 50·1 bis 54·9), fällt durchwegs eine kleinere Zahl von Schädeln als wie in die Mittelstufe der Leptoprosopie (55·0 bis 59·9), insbesondere wieder bei den Weibern der Nordgruppe, bei welchen dieser letzteren Stufe 78·6% der Schädel angehören. Besonders hohe Grade von Schmalgesichtigkeit (Index 60 und mehr) kommen jedoch nur selten vor, verhältnismäßig am häufigsten unter den Männern der Südgruppe.

Index craniofacialis transversalis (Tabelle VI).

Es ist nicht ohne Interesse und für die Gesamtgestalt des Schädels namentlich in einzelnen Fällen geradezu charakteristisch, das Verhältnis der Obergesichtsbreite (Jochbogenbreite) zur größten Breite des Hirnschädels festzustellen, welches durch den Index craniofacialis zum Ausdruck kommt.

Index craniofacialis (transversalis).

	Index	80—84	85—89	90—94	95—99	100—106
Kub. Süd	55♂	9·1%	16·4%	50·9%	18·2%	5·5%
		25·5%			23·6%	
» Nord	26♂	0	26·9%	34·6%	38·5%	0
		26·9%			38·5%	
Kub. Süd	32♀	15·6%	40·6%	37·5%	6·3%	0
		56·3%			6·3%	
» Nord	15♀	20·0%	26·7%	33·3%	20·0%	0
		46·7%			20·0%	

An dem vorliegenden Schädelmaterial unterliegt dieser der sehr beträchtlichen Schwankung von 80 bis 106, wobei gewisse Geschlechtsunterschiede nicht zu verkennen sind. Von 81 männlichen Schädeln fällt nämlich nahezu die Hälfte in eine mittlere Indexstufe von 90 bis 94 und nur ein Fünftel auf die nächst niedrigere Stufe von 85 bis 89, während von 47 weiblichen Schädeln nahezu vier Fünftel gleichmäßig auf die beiden letztgenannten Indexstufen verteilt und die höhere Stufe von 95 bis 99 nur mit einem Zehntel der Schädel vertreten ist. Von den männlichen Schädeln dieser Gruppe gehört ein Viertel dieser letzteren Stufe an.

Als extreme Indexzahlen erscheinen einerseits je einmal 100, 101 und 106 bei den Männern der Südgruppe, andrerseits 80 bis 84, und zwar je fünfmal, bei den Männern und Weibern der Südgruppe und dreimal bei den Weibern der Nordgruppe.

Den außergewöhnlich hohen Index craniofacialis 106 besitzt der Schädel Nr. 2 (Tafel III), ein hochgradig dolichokephaler Schädel (L. Br. Index 70·9) mit seitlich stark abdachendem Scheitel, fliehender Stirn, gut ausgebildeten Brauen- und akzessorischen Brauenbögen, breiter, tief eingesenkter Nasenwurzel

und außergewöhnlich breiter vorderer Nasenöffnung (Nasenindex 66·7). Seine größte Schädelbreite beträgt nur 124, hingegen die Jochbreite 132 *mm*. Auch für die beiden anderen besonders schmalgesichtigen Schädel der Südgruppe (Nr. 60 und 128) ergibt sich der außergewöhnlich hohe Index craniofacialis von 101·5 beziehungsweise 100·0 aus der sehr bedeutenden Jochbreite von 137 und 138 *mm*, was auch von dem männlichen Schädel Nr. 168 der Nordgruppe gilt, bei dem dieser Index 99·3 beträgt. Alle diese drei Schädel sind dolichokephal.

Der kleinste Index craniofacialis findet sich an den weiblichen Schädeln Nr. 157 und 163 der Nordgruppe mit 80·0 beziehungsweise 81·5. Der erstere von diesen ist erst 12 bis 15jährig und dürfte daher seine definitive Obergesichtsbreite noch nicht erlangt haben, der letztere steht in einem mittleren Lebensalter; beide sind mesokephal und besitzen die beträchtliche Schädelbreite von 135 *mm*, während die Jochbreite außergewöhnlich klein ist (108 beziehungsweise 110 *mm*). Hingegen erreicht der ausgewachsene, gleichfalls mesokephale Schädel derselben Gruppe bei ebenso geringer Jochbreite (109 *mm*) den Index von 87·2, weil seine größte Schädelbreite nur 125 *mm* beträgt. Ähnliches ergibt sich bei mehreren Schädeln der Südgruppe, von welchen die weiblichen (Nr. 41 und 110) und die männlichen (Nr. 51, 65, 69 und 92) den Index craniofacialis 82·6 bis 83·9 besitzen. Der oben genannte männliche Schädel Nr. 168 fällt durch besondere Größe und durch die außergewöhnliche Dicke seiner Wandung sowie durch sehr starke Ausprägung der Muskelansatzstellen auf.

Nasengegend (Tabelle VII).

An sehr vielen von den vorliegenden Schädeln sind die Nasenbeine abgebrochen oder ganz verloren gegangen, so daß ein vollständiges Bild dieser Gegend nur für eine kleine Minderheit der Schädel zu gewinnen ist. Immerhin konnte die »Nasenhöhe« sowie die Breite der vorderen Nasenöffnung und somit das proportionale Verhältnis zwischen beiden, der Nasenindex, an 100 männlichen Schädeln (64 der Südgruppe und 36 der Nordgruppe) und an 57 weiblichen Schädeln (40 der Süd- und 17 der Nordgruppe) festgestellt werden.

Es ergab sich eine große Übereinstimmung zwischen den Schädeln der Südgruppe und den männlichen Schädeln der Nordgruppe insofern, als bei ihnen 35 bis 40% der Schädel als platyrrhin und ebenso viele als mesorrhin zu bezeichnen sind und die leptorrhinen in verhältnismäßig geringer Zahl vorkommen; nur bei den Männern der Nordgruppe steigt die Zahl derselben auf 27·8% an. Hingegen sind unter den Weiberschädeln der Nordgruppe 41% leptorrhin, 29% mesorrhin und nur 23% platyrrhin. Hyperplatyrrhinie findet sich fünfmal bei den Männern und dreimal bei den Weibern der Südgruppe, während sie unter den Weibern der Nordgruppe nur einmal und unter den Männern dieser Gruppe gar nicht vertreten ist. Zumeist handelt es sich übrigens um niedere Grade der Hyperplatyrrhinie (Index 58·1 bis 60), nur der schon wegen der besonderen Breite seines Obergesichtes und des außergewöhnlich hohen Index craniofacialis hervorgehobene männliche Schädel Nr. 2 der Südgruppe zeichnet sich auch durch den besonders hohen Nasenindex von 66·7 aus.

Die Nasenwurzel erscheint bei der großen Mehrzahl der Schädel flach oder leicht konkav eingebogen; insbesondere gilt dies für die meisten weiblichen Schädel und steht in Zusammenhang mit flacher Glabellar- und Oberaugengegend. An acht männlichen Schädeln (davon zwei aus der Nordgruppe) ist sie sehr beträchtlich und an neun anderen tief und winkelförmig eingesenkt (davon zwei aus der Nordgruppe). Es sind dies durchwegs Schädel mit stark ausgeprägten Brauenbögen und mehr oder weniger vortretendem Glabellarwulst. Besondere Erwähnung verdienen zwei Schädel der Südgruppe, welche hinsichtlich der außergewöhnlichen Beschaffenheit der Nasenwurzel sozusagen entgegengesetzte Extreme darstellen und den Zusammenhang derselben mit den Formverhältnissen der Glabellar- und Oberaugengegend gut anschaulich machen. Der eine davon ist der schon wiederholt hervorgehobene Schädel Nr. 2. An ihm ist der Nasenfortsatz des Stirnbeins sehr kurz, die kräftig ausgebildeten Brauenbögen ziehen von diesen aus ganz flach gekrümmt über die niederen Augenhöhlen-

eingänge hin. Ober der sehr breiten, winkelförmig eingesenkten Nasenwurzel tritt ein starker Glabellarwulst hervor. Ein entgegengesetztes Verhalten zeigt der Schädel Nr. 46, den ich wegen prämaturer Synostose der Pfeilnaht nicht in die tabellarische Zusammenfassung einbezogen habe. An diesem breitgesichtigen Schädel ist der Nasenfortsatz des Stirnbeins außergewöhnlich lang, die schwach ausgebildeten Brauenbögen steigen in ihrem medialen Anteil senkrecht an, um dann in starker bogenförmiger Krümmung über die hohen Augenhöhleneingänge hinwegzulaufen. Die Nasenwurzel ist mittelbreit und nur ganz wenig eingebogen; ein Glabellarwulst fehlt.

Durch außergewöhnlich breite Nasenbeine bei ganz flacher Nasenwurzel ist der Schädel Nr. 29 ausgezeichnet.

Fossae pränasales finden sich verhältnismäßig häufig, und zwar gut ausgebildet im ganzen unter 180 Schädeln 41 mal (das sind 23% der Schädel). In der Südgruppe trifft man sie bei beiden Geschlechtern gleich oft (25·6%), während sie in der Nordgruppe nur an 17% der Schädel (an 21 männlichen und 9 weiblichen) vorkommen. Andeutungsweise finden sie sich in beiden Gruppen je siebenmal. Eine Beziehung ihres Vorkommens und ihrer Ausbildung zu den Formverhältnissen der Nasenwurzel oder des Naseneinganges ist nicht zu erkennen.

Augenhöhleneingang (Tabelle VII).

Von besonderer Bedeutung für die Charakteristik des Gesichtsschädels ist die nähere Beschaffenheit des Augenhöhleneinganges. Es kommt aber dabei nicht nur das Verhältnis seiner Breite zur Höhe, also der sogenannte Augenhöhlenindex in Betracht, sondern mehr noch die Form seines Umrisses und seine absolute Größe.

Index des Augenhöhleneinganges.

		Chamaekonch		Mesokonch	Hypsikonch	
	Index	68—75	76—80·0	80·1—85·0	85·1—90	91—105
Kub. Süd	65♂	4 = 6·2%	8 = 12·3%	19 = *29·2%*	21 = 32·3%	13 = 20·0%
		12 = *18·5%*			34 = *52·3%*	
» Nord	35♂	0	7 = 20%	15 = *42·9%*	8 = 22·9%	5 = 14·3%
		7 = *20%*			13 = *37·1%*	
Kub. Süd	43♀	0	4 = 9·3%	9 = *20·9%*	18 = 41·9%	12 = 27·9%
		4 = *9·3%*			30 = *69·8%*	
» Nord	20♀	0	0	4 = *20·0%*	9 = 45·0%	7 = 35·0%
		0			16 = *80·0%*	

Dem Index des Augenhöhleneinganges zufolge sind von den verwertbaren 163 Schädeln die Mehrzahl, nämlich 93, das sind 57·1% hypsikonch. Es tritt aber ein auffallender Geschlechtsunterschied hervor, indem von den 63 weiblichen Schädeln 73%, von den 100 männlichen aber nur 47% in diese Kategorie fallen. Aber auch zwischen den Schädeln der Süd- und Nordgruppe herrschen sehr erhebliche Unterschiede, denn von den 65 männlichen Schädeln der ersteren erscheinen 52·3%, von den 35 der letzteren Gruppe nur 37·1% als hypsikonch, während sich unter den 43 Weiberschädeln

der Südgruppe 69·8%, unter den 20 Weiberschädeln der Nordgruppe aber 80% hypsikonche befinden. Auch die höheren Grade der Hypsikonchie (Index über 91) finden sich, wie die vorstehende Zusammenfassung zeigt, entschieden häufiger bei den Weiberschädeln, am häufigsten wieder unter den Weibern der Nordgruppe mit 35%. Dabei ist jedoch hervorzuheben, daß extreme Grade von Hypsikonchie nicht nur an Weiberschädeln (Index 102·6 bei Nr. 8 und 100·0 bei Nr. 4, beide aus der Südgruppe), sondern ausnahmsweise auch bei Männerschädeln vorkommen, so der Index 105·6 bei Nr. 85 und 100·0 bei Nr. 55 und 51, alle drei aus der Südgruppe. In der Nordgruppe treten so hohe Indexzahlen nicht auf, als Höchstzahlen erscheinen in ihr zweimal 97 bei männlichen und dreimal 94 (einmal bei einem männlichen und zweimal bei weiblichen Schädeln). Soweit der Obergesichtsindex festgestellt werden konnte, sind alle die letztgenannten Schädel leptoprosop, und zwar fallen die höchsten Grade der Hypsikonchie mit den höchsten Graden von Leptoprosopie zusammen.

Mesokonche Schädel erscheinen am häufigsten unter den Männern der Nordgruppe (42·9%), hingegen unter den Männern der Südgruppe nur mit 29% und bei den Weibern beider Gruppen gleichmäßig mit 20%.

Chamaekonchie findet sich bei den Männern der Süd- und Nordgruppe ziemlich gleichmäßig an 18·5 beziehungsweise an 20% der Schädel, hingegen bei den Weibern nur in der Südgruppe mit 9%. In ihren extremen Graden ist sie auf die Männer der Südgruppe beschränkt, unter welchen je einmal der Index 68, 71, 73 und 75 verzeichnet ist.

Die Umrißform der Augenhöhleneingänge ist zunächst abhängig von der besonderen Beschaffenheit jener drei Pfeiler, welche senkrecht emporstrebend das Gesichtsskelett gegen die Hirnkapsel stützen, nicht minder aber auch von gewissen anatomischen Eigenschaften jener Knochenteile, welche die unmittelbaren Stützpunkte für die Pfeiler abgeben, nämlich des Nasen- und des Jochfortsatzes des Stirnbeins. Diese Pfeiler, ein mittlerer »nasaler« und zwei seitliche »jugale« Gesichtspfeiler (vgl. C. Toldt, Brauenwülste etc. in Mitt. d. Wiener Anthropol. Ges., 44. Bd., 1914), bilden die Grundlage für den medialen beziehungsweise lateralen Rand des Augenhöhleneinganges. Da diese beiden Ränder ohne ganz scharfe Grenzen in den unteren beziehungsweise oberen Rand übergehen, nehmen schon verhältnismäßig kleine Formeigentümlichkeiten eines dieser Pfeiler und seines Stützpunktes, in Kombination mit solchen des entsprechenden anderen Pfeilers, einen bestimmenden Einfluß auf Krümmung und Richtung des oberen und unteren Randes und so auf die Gesamtform des Augenhöhleneinganges.

Die ursprüngliche, regelmäßig dem ersten Kindesalter eigene Form des Augenhöhleneinganges ist eine annähernd kreisrunde. Nicht selten, wie auch an einem nicht unerheblichen Bruchteile des hier behandelten Schädelmaterials, erhält sich diese Form dauernd; an der weitaus größten Mehrzahl der Schädel hat jedoch der Umriß der Augenhöhleneingänge infolge der mit der Ausbildung des Kauapparates zusammenhängenden Wachstumsvorgänge andere Formen angenommen, die dann in einzelnen Fällen dem Gesichtsskelett ein ganz besonderes Gepräge verleihen können. Man kann diese Formen nach gewissen geometrischen Figuren, denen sie ähnlich sind, benennen, unter dem Vorbehalt, daß diese Ähnlichkeit immer nur eine annähernde ist.

Die weitaus häufigste Umrißform des Augenhöhleneinganges ist an dem vorliegenden Schädelmaterial, wie wohl auch im allgemeinen, die elliptische. Bei ihr biegt der Nasenteil des Stirnbeins, bald nachdem er sich in der Nasen-Stirnbeinnaht an den nasalen Gesichtspfeiler angeschlossen hat, bogenförmig und ohne erhebliche Verbreiterung in den flach gekrümmten oberen Augenhöhlenrand um, während sich aus dem unteren, gleichfalls nur wenig verbreiterten Teile dieses Pfeilers in etwas flacherem Bogen der nahezu geradlinige untere Augenhöhlenrand fortsetzt. Diese Übergangsstelle liegt ungefähr in der Höhe des Einganges des Tränennasenkanals. Der verhältnismäßig wenig ausgebogene Jochbeinrand ist leicht nach hinten geneigt und läuft annähernd parallel zu dem medialen Rande nach oben, seinem Anschluß an den Jochfortsatz des Stirnbeins entgegen, bei welchem er ziemlich rasch in den oberen Augenhöhlenrand abbiegt

Umriß der Augenhöhleneingänge.

		elliptisch		rhomboid	rechteckig		rund
		quer	schief		quer	schief	
Kub. Süd	64♂	26	20	11	2	2	3
» Nord	34♂	16	7	6	2	1	2
Kub. Süd	38♀	13	13	4	2	0	6
» Nord	20♀	6	3	6	3	0	2

Häufig liegt die längere Achse der Ellipse ganz oder annähernd quer. Ist jedoch der Jochfortsatz des Stirnbeins verhältnismäßig lang und stärker lateral geneigt, so ergibt sich daraus eine gewisse Schieflage und etwas größere Länge des oberen Augenhöhlenrandes, welcher eine größere Ausbiegung des Jochbeinrandes und infolge dieser auch eine Schieflage des unteren Augenhöhlenrandes entspricht. Die längere Achse der Ellipse erscheint dann schief lateral und abwärts gerichtet, und zwar manchmal sehr schief, ja in einzelnen Fällen, zum Beispiel an dem männlichen Schädel Nr. 85 der Südgruppe nähert sie sich sogar der senkrechten Richtung an.

Sind die Übergangsstellen der Augenhöhlenränder ineinander scharf ausgeprägt, also mehr winkel- als bogenförmig, wie dies nicht selten bei sehr niederen Augenhöhlen vorkommt, so geht aus der elliptischen eine annähernd rechteckige Form des Augenhöhleneinganges hervor, wobei der längere Durchmesser des Rechteckes ebenfalls entweder quer oder schief eingestellt sein kann; jedoch erreicht die Schieflage niemals ein so beträchtliches Maß, wie häufig bei der elliptischen Form. So wie bei dieser letzteren kann auch bei der rechteckigen Umrißform das Verhältnis der beiden Hauptdurchmesser zueinander ein verschiedenes sein, so daß die letztere Form sich in einzelnen Fällen der quadratischen annähern kann, gleichwie auch die elliptische Form bald eine mehr gestreckte, bald eine mehr gedrungene ist.

Weitaus seltener als die elliptische (vgl. die vorstehende Übersicht) kommt eine rhomboide Form des Augenhöhleneinganges vor. Von Wesenheit ist für sie, daß der Nasenfortsatz des Stirnbeins von der Stirnnasennaht an mit beträchtlich divergierenden Rändern weit nach oben ansteigt, um erst in der Gegend der Incisura supraorbitalis in scharfem Bug in den oberen Augenhöhlenrand übergehen. Diese Stelle liegt viel höher als die Stirn-Jochbeinnaht, um so mehr, als diese letztere zumeist infolge beträchtlicher Ausladung des Jochfortsatzes des Stirnbeins tiefer und zugleich weiter rückwärts gerückt ist. Der obere Augenhöhlenrand ist daher stark nach unten geneigt und sein Übergang in den lateralen Rand erfolgt in ganz flachem Bogen. Dieser letztere Rand läuft anfangs nahezu geradlinig, geht aber infolge einer mehr oder weniger starken Ausbauchung des jugalen Gesichtspfeilers in einen steilen Bogen über, mittels dessen er sich in den schräg medial ansteigenden annähernd geradlinigen unteren Augenhöhlenrand fortsetzt. Für das weitere Verhalten dieses letzteren ist der Umstand maßgebend, daß die Seitenränder des nasalen Gesichtspfeilers in ihren unteren Anteilen stark divergieren und gewöhnlich scharf heraustretend entlang der vorderen Tränenleiste nach oben fortlaufen, an welcher, ungefähr der Mitte der Höhe der Tränensackgrube entsprechend, in ganz flachem Bogen der Übergang des unteren in den medialen Augenhöhlenrand erfolgt. Der mediale Rand beginnt daher beträchtlich weiter oben als der laterale und läuft auch, leicht lateral geneigt, höher hinauf bis zur Incisura supraorbitalis. Die schärferen Ecken des Rhomboids liegen daher einerseits in der Gegend der Incisura supraorbitalis, andrerseits in der Ausbiegung des Jochbeins, die flacheren Ecken einerseits ungefähr in der Mitte der Höhe des nasalen Gesichtspfeilers, andrerseits an der Stirn-Jochbeinnaht. Die beiden Diagonalen zeigen daher ausnahmslos eine beträchtliche Schieflage, und zwar ist die längere derselben von oben nach unten und lateral eingestellt. Überdies weicht die

Ebene des rhomboiden Augenhöhleneinganges gewöhnlich stärker von der Frontalen ab als bei den anderen Umrißformen, weil bei ihnen, wie vorhin erwähnt, der obere Augenhöhlenrand mehr nach hinten geneigt und der Jochbeinrand stärker ausgebuchtet ist.

Es ist nun hervorzuheben, daß hinsichtlich der Umrißform sehr häufig Asymmetrie der Augenhöhleneingänge besteht, allerdings meistens in geringerem, manchmal aber in hohem Maße, so daß es sich nicht nur um kleinere Abweichungen zwischen rechts und links, sondern um durchaus verschiedene Umrißformen handelt. An unserem Material finden sich im ganzen sieben solche Schädel, welche in die vorstehende Zusammenstellung nicht einbezogen sind. Beispielsweise ist an dem weiblichen Schädel Nr. 50 der Südgruppe der linke Augenhöhleneingang annähernd quadratisch, der rechte elliptisch und schief eingestellt, während von den Weibern derselben Gruppe, unter welchen sich höhergradige Asymmetrie am häufigsten findet, die Schädel Nr. 114, 117 und 118 rechts einen elliptischen, quer eingestellten, links aber einen rhomboiden Augenhöhleneingang aufweisen. In allen diesen Fällen erscheint die Asymmetrie als Teilerscheinung einer Asymmetrie des Obergesichtsskelettes.

Hinsichtlich der absoluten Weite der Augenhöhleneingänge sei hervorgehoben, daß sie sich an der großen Mehrzahl der vorliegenden Schädel in mittleren Grenzen hält; nur einzelne derselben sind durch auffallend weite oder auffallend enge Augenhöhleneingänge ausgezeichnet. Eine nähere Feststellung dieses Verhältnisses durch Berechnung des Flächeninhaltes nach der vorgeschlagenen Methode: Br.×H. habe ich unterlassen, weil ihre Ergebnisse zu ungenau sind und, wie auch selbst direkte Messungen, für die große Mehrzahl der mittelweiten Augenhöhleneingänge nur von geringem Belang wären. Übrigens kommt dabei auch der größte Durchmesser sehr in Betracht.

Eine gewisse Beziehung besteht, wenngleich keineswegs ausnahmslos, zwischen Weite und Umrißform, insofern, als niedere Augenhöhleneingänge mit elliptischem oder rechteckigem Umriß und quer eingestelltem längeren Durchmesser gewöhnlich sehr eng sind, während rhomboide oder sehr schief eingestellte elliptische Augenhöhleneingänge häufig verhältnismäßig weit erscheinen, besonders dann, wenn ihr größter Durchmesser von beträchtlicher Länge ist. Auf den Index des Augenhöhleneinganges kommt es in diesen Fällen nicht an, denn dieser ist nicht nur bei der kreisrunden Form sehr hoch, sondern manchmal auch bei der rhomboiden oder elliptischen Form mit sehr schief eingestellter längerer Achse, wenn der größte Durchmesser im Verhältnis zu den anderen ein hohes Maß erreicht. Bei sehr weiten Augenhöhlen sind alle drei Durchmesser von beträchtlicher Länge.

An dem vorliegenden Schädelmaterial erscheinen die Augenhöhleneingänge auffallend weit je viermal bei Weibern und Männern der Südgruppe und bei einem Manne der Nordgruppe; auffallend eng bei je einem Manne und Weibe der Südgruppe und bei zwei Männern der Nordgruppe. Nach der oben erwähnten Methode berechnet, würde sich in diesen Fällen der Flächeninhalt für die weiten Augenhöhleneingänge auf 1370 bis 1560, für die engen auf 980 bis 1080 mm^2 belaufen.

Cribra orbitalia. Diese eigentümliche Erscheinung an dem vorderen Abschnitt des Augenhöhlendaches findet sich an unserem Schädelmaterial nicht häufig. Ohne wesentlichen Unterschied hinsichtlich des Geschlechtes kommen sie in beiden Gruppen annähernd gleich oft, und zwar beiderseits gut ausgebildet an den 180 Schädeln zehnmal und andeutungsweise 13mal vor. Einseitig sind sie an acht Schädeln angedeutet, und zwar davon siebenmal auf der linken Seite.

Oberkiefer (Tabelle VIII).

Die Höhe des Oberkieferkörpers einschließlich des Zahnfächerfortsatzes, die Orbito-Alveolarhöhe, schwankt im ganzen zwischen 29 und 54 *mm*, jedoch hält sie sich am häufigsten, unter 146 Schädeln 82mal, das sind 56·2%, zwischen 40 und 44 *mm*. Annähernd die gleiche Prozentzahl kommt den Männern der Süd- und Nordgruppe zu, während sie für die Weiber der Nordgruppe auf 71·4 ansteigt, hingegen für die Weiber der Südgruppe auf 47·4 herabsinkt. An den weiblichen

Schädeln erhebt sich die Höhe des Oberkieferkörpers nur einmal (in der Südgruppe) über 44 *mm* (auf 47), hingegen kommen bei den männlichen Schädeln nicht selten höhere Maße vor, und zwar 45 bis 47 *mm* in der Südgruppe bei 25·0% der zugehörigen Schädel und in der Nordgruppe bei 13·3%; als Höchstmaße erscheinen bei ihnen in der Südgruppe je einmal 50 und 54 *mm*, in der Nordgruppe einmal 48 *mm*. Verhältnismäßig nieder ist der Oberkiefer häufiger bei den weiblichen Schädeln, indem an ihnen die Höhenstufe von 35 bis 39 *mm* in der Südgruppe bei 39·5% und in der Nordgruppe bei 21·4% der zugehörigen Schädel vorkommt und die Mindestzahl in der Südgruppe einmal 29 und zweimal 32 *mm*, in der Nordgruppe einmal 34 *mm* beträgt. Unter den männlichen Schädeln erscheint dagegen eine Höhe von 35 bis 39 *mm* in der Südgruppe nur bei 15·6%, in der Nordgruppe bei 23·3% der Schädel, sie sinkt aber in keinem Falle unter 35 *mm* herab.

Der Oberkiefer-Alveolarbogen.

Die Länge desselben bewegt sich am häufigsten zwischen 50 und 58 *mm*, und zwar in der Südgruppe bei 58 Männern 54mal (93·1%), bei 36 Weibern 30mal (83·3%), jedoch erscheinen die höheren Maße von 55 bis 58 *mm* bei den Männern viel häufiger (63·8%) als bei den Weibern (16·7%). Unter 50 *mm* bleibt das Längenmaß bei den Männern nur einmal (48 *mm*), bei den Weibern aber sechsmal (je zweimal 45 und 48 und je einmal 46 und 49 *mm*). Hingegen steigt es bei den Weibern nicht über 58 *mm* an, bei den Männern jedoch je einmal auf 59, 60 und 61 *mm*. Ganz ähnlich verhält es sich in der Nordgruppe. In ihr erscheinen die Höchstmaße bei den Männern je einmal mit 59 und 60, das Mindestmaß einmal mit 48 *mm*, bei den Weibern das Höchstmaß einmal mit 56 und das Mindestmaß je einmal mit 44, 45, 47 und 48 *mm*.

Die Breite des Oberkiefer-Alveolarbogens bleibt nur einmal (an dem Schädel der Südgruppe Nr. 84) um weniges gegen die Länge desselben zurück; sonst ist sie durchwegs, und zwar nicht selten, beträchtlich größer. Am häufigsten schwankt die Breite zwischen 58 und 67 *mm*, und zwar unter den 55 männlichen Schädeln der Südgruppe 45mal (81·8%), unter den 33 weiblichen Schädeln dieser Gruppe 29mal (87·9%). Während aber die Maße zwischen 58 und 62 *mm* bei den Männern nahezu gleich oft vorkommen als wie die höheren zwischen 63 und 67 *mm*, erscheinen bei den Weibern die ersteren doppelt so oft als wie die letzteren und die Höchstmaße zwischen 68 und 70 *mm* finden sich bei Männern sechsmal, während bei den Weibern nur einmal 68 *mm* als solches vorkommt. Hingegen finden sich die Mindestmaße 52 und 55 *mm* je einmal bei den Männern und 56 *mm* je einmal bei beiden Geschlechtern. Auch in der Nordgruppe gibt sich schon bei dem kleinen verwendbaren Material (22 männliche, 10 weibliche Schädel) ein auffallender Geschlechtsunterschied kund, da das Breitenmaß bei den Männern an 68·2% der Schädel zwischen 58 und 62 *mm* und in 27·3% zwischen 63 und 66 *mm* fällt, während sich von den Weibern 70·0% in die erstere Stufe einreihen und nur einmal 64 *mm* als Höchstmaß erscheint. Bei den Männern kommen als Höchstmaße je einmal 65 und 66 *mm* vor.

Das Verhältnis der Breite zur Höhe (Breiten-Höhenindex) des Oberkieferkörpers. Häufig ist die Höhe des Oberkieferkörpers (einschließlich des Zahnfächerfortsatzes) im Vergleich zur Breite des Zahnfächerfortsatzes ziemlich beträchtlich, weshalb in beiden Gruppen und bei beiden Geschlechtern die höheren Stufen dieses Index entschieden vorwiegen. Von den 22 Männern der Nordgruppe besitzt die Hälfte einen Index von 65 bis 69, und 36·4% derselben einen Index von 70 bis 78. Von den neun Weibern dieser Gruppe fallen 44·4% in die erstere und 33·3% in die letztere Indexstufe. Ein wenig niederer sind die Indexzahlen in der Südgruppe; in ihr entfallen 36·8% von den Männerschädeln auf die Indexstufe von 65 bis 69 und ebenso viele auf die höhere Stufe von 70 bis 78, während bei den 32 Weibern die erstere Gruppe mit 34·4%, die letztere nur mit 25·0% vertreten ist. Unter den Weiberschädeln der Südgruppe erscheinen auch die kleinsten Indexzahlen, und zwar einmal 49·1 bei dem Schädel Nr. 76, der von einer juvenilen, etwa 15 bis 16 Jahre alten Person

stammt und die geringe Oberkieferhöhe von 29 *mm* besitzt. Nicht viel größer (51·6) ist aber auch der Index bei dem ausgewachsenen chamaeprosopen Schädel Nr. 114, dessen Oberkieferhöhe nur 32 *mm* beträgt. Die höchsten Indexzahlen 78·0 und 78·6 finden sich viermal an leptoprosopen Männerschädeln der Südgruppe.

Breiten-Höhenindex des Oberkiefers $\left(\frac{\text{Orbito-Alv. H} \times 100}{\text{Br. des Alveolarbogens}}\right)$.

	Index	49—54	55—59	60—64	65—69	70—78
Kub. Süd	55♂	0	5 = *9·1*%	11 = *20·0*%	20 = *36·4*%	19 = *34·6*%
» Nord	22♂	0	0	3 = *13·6*%	11 = *50·0*%	8 = *36·4*%
Kub. Süd	32♀	3 = *9·4*%	4 = *12·5*%	6 = *18·8*%	11 = *34·4*%	8 = *25·0*%
» Nord	9♀	0	0	2 = *22·2*%	4 = *44·4*%	3 = *33·3*%

Der Index des Oberkiefer-Alveolarbogens, Maxillo-Alveolarindex, zeigt im ganzen die sehr bedeutende Schwankung zwischen 98 und 131, jedoch bewegt er sich bei der großen Mehrzahl der Schädel zwischen 110 und 120, also im Bereiche der Brachy- und Mesouranie. Brachyurane Schädel finden sich häufiger bei den Weibern, und zwar gehören von den 30 Weibern der Südgruppe 66·6%, von den 10 Weibern der Nordgruppe 60·0% dazu, von den Männern aber nur 44·2

Oberkiefer-Alveolarbogenindex (Maxillo-Alveolarindex).

		Dolichouran		Mesouran	Brachyuran	
	Index	98—104	105—109	110—114	115—120	121—131
Kub. Süd	52♂	5 = 9·6%	7 = 13·5%	17 = *32·7*%	16 = 30·8%	7 = 13·5%
		12 = *23·1*%			23 = *44·2*%	
» Nord	22♂	1 = 4·6%	4 = 18·2%	7 = *31·8*%	9 = 40·9%	1 = *4·6*%
		5 = *22·7*%			10 = *45·5*%	
Kub. Süd	30♀	0	2 = 6·7%	8 = *26·7*%	14 = 46·7%	6 = 20·0%
		2 = *6·7*%			20 = *66·6*%	
» Nord	10♀	0	1 = 10·0%	3 = *30·0*%	5 = 50·0%	1 = 10·0%
		1 = *10·0*%			6 = *60·0*%	

beziehungsweise 45·5%. Höhere Grade von Brachyuranie erscheinen jedoch in der Südgruppe (20·0% der Weiber und 13·5% der Männer). Der ausnehmend hohe Index 131 ist dem juvenilen Schädel Nr. 76 eigen, im übrigen kommen als besonders hohe Indexe einmal 128 und zweimal 127 vor, die letztere Zahl insbesondere bei dem juvenilen Schädel Nr. 157 der Nordgruppe.

Mesourane Schädel sind in beiden Gruppen und bei beiden Geschlechtern annähernd gleichmäßig mit 26·7 bis 32·7% der Schädel vertreten; hingegen kommt Dolichouranie im ganzen seltener, jedoch

noch in erheblichem Maße bei den Männern beider Gruppen (in 22·7, beziehungsweise 23·1% der Schädel) vor, unter welchen auch die kleinsten Indexzahlen (einmal 98 und zweimal 101) vertreten sind.

Harter Gaumen. Seine absoluten Maße waren an unserem Material nur bei 74 männlichen (50 aus der Süd- und 24 aus der Nordgruppe) und bei 41 weiblichen Schädeln (29 der Süd- und 12 der Nordgruppe) bestimmbar. Die Länge des harten Gaumens schwankt bei den männlichen Schädeln zwischen 41 und 52, bei den weiblichen zwischen 38 und 50 *mm*, die Breite bei den ersteren zwischen 31 und 47, bei den letzteren zwischen 30 und 41 *mm*.

Als Höchstmaße erscheinen für die Männerschädel 50 bis 52 *mm* und zwar in der Südgruppe neunmal, in der Nordgruppe dreimal, für die Weiberschädel 47 bis 50 *mm* je dreimal in beiden Gruppen. Die Mindestmaße der Länge betragen für die Weiber 38 bis 40 *mm* (viermal in jeder Gruppe), für die Männer 41 und 42 *mm* (dreimal in der Süd- und einmal in der Nordgruppe).

Die Breite des harten Gaumens weist als Höchstmaße bei den Männern der Südgruppe je einmal 45, 46 und 47 *mm* auf, während die Männer der Nordgruppe sowie die Weiber der Südgruppe nur das Höchstmaß von 41 *mm* erreichen und dieses bei den Weibern der Nordgruppe auf 37 und 38 *mm* (fünfmal) beschränkt ist. Die Mindestmaße der Breite verhalten sich ziemlich gleichmäßig; sie belaufen sich bei den Weibern der Süd- und Nordgruppe je einmal auf 30 und 32, bei den Männern in der Südgruppe je einmal auf 31 und 32, in der Nordgruppe je einmal auf 32 und 33.

Hinsichtlich des durch den Gaumenindex zum Ausdruck gebrachten Verhältnisses zwischen Breite und Länge des harten Gaumens erscheint die Hälfte der vorliegenden Schädel als leptostaphylin. Unter den Männern und Weibern der Nordgruppe sind es 58·3% der Schädel, unter den Männern der Südgruppe 52·0% und nur bei den Weibern der Südgruppe sind sie auf 34·5% der Fälle beschränkt. Von hohen Graden der Leptostaphylinie erscheint, ausnahmsweise einmal der Index 62·8

Gaumenindex (Breiten-Längenindex des harten Gaumens).

		Leptostaphylin		Mesostaphylin	Brachystaphylin	
	Index	62—70	71—79	80—84	85—91	92—100
Kub. Süd	50♂	5 = 10·0%	21 = 42·0%	13 = *26·0*%	9 = 18·0%	2 = 4·0%
		26 = *52·0*%			11 = *22·0*%	
» Nord	24♂	2 = 8·3%	12 = 50·0%	8 = *33·3*%	2 = 8·3%	0
		14 = *58·3*%			2 = *8·3*%	
Kub. Süd	29♀	1 = 3·5%	9 = 31·0%	13 = *44·8*%	6 = 20·7%	0
		10 = *34·5*%			6 = *20·7*%	
» Nord	12♀	0	7 = 58·3%	4 = *33·3*%	1 = 8·3%	0
		7 = *58·3*%			1 = *8·3*%	

bei dem männlichen Schädel der Südgruppe Nr. 84, im übrigen einmal der Index 66 unter den Männern der Südgruppe, viermal der Index 68 (zweimal bei den Männern der Süd-, einmal der Nord- und einmal bei den Weibern der Südgruppe) und zweimal der Index 69 unter den Männern der Südgruppe. Ungefähr ein Drittel der Schädel ist mesostaphylin und zwar sind es in der Nordgruppe bei beiden Geschlechtern 33·3%, in der Südgruppe von den Weibern 44·8% und von den Männern 26%. Am wenigsten sind brachystaphyline Schädel vertreten und zwar in erheblichem Maße nur

unter den Männern der Südgruppe mit 22·0 % der Schädel; unter diesen erscheint auch einmal der außergewöhnliche Index 100·0, sowie einmal der Index 92.

Vertikale Profilierung des Obergesichtes (Tabelle VIII).

Für die Untersuchung der Obergesichtseinstellung waren im ganzen nur 139 Schädel geeignet und zwar 96 aus der Süd- und 43 aus der Nordgruppe; an 13 weiteren Schädeln konnte nur die Profilierung des Mittelgesichtes festgestellt werden. Hinsichtlich der Einstellung des Ober- und Mittelgesichtes erwies sich die Mehrzahl der Schädel als orthognath, während für den Zahnfächerfortsatz im allgemeinen die Prognathie vorherrschend ist.

Vertikale Profilierung des Obergesichtes.

		Einstellung des							
		Obergesichtes				Zahnfächerfortsatzes			
		progn.	mesogn.	orthogn.	hyper-orthogn.	hyper-progn.	progn.	mesogn.	orthogn.
Kub. Süd	59♂	3 = *5·1* %	21=*35·6* %	35=*59·3* %	0	1=*1·7* %	40=*67·8* %	5=*8·5* %	13=*22·5* %
» Nord . . .	28♂	0	12=*42·9* %	14=*50·0* %	2=*7·1* %	1=*3·6* %	11=*39·3* %	9=*32·1* %	7=*25·0* %
Kub. Süd	37♀	3 = *8·1* %	15=*40·5* %	19=*51·4* %	0	5=*13·5* %	23=*62·2* %	7=*18·9* %	2=*5·4* %
» Nord . . .	15♀	2 = *13·3* %	3=*20·0* %	9=*60·0* %	1—*6·7* %	0	8=*53·3* %	3=*20·0* %	4=*26·7* %

		Einstellung des Mittelgesichtes			
		progn.	mesogn.	orthogn.	hyper-orthogn.
Kub. Süd	63♂	2 = *3·2* %	12 = *19·1* %	47 = *74·6* %	2 = *3·2* %
» Nord . . .	35♂	·	1 = *17·1* %	27 = *77·1* %	2 = *5·7* %
Kub. Süd	38♀	·	7 = *18·4* %	30 = *79·0* %	1 = *2·6* %
» Nord . . .	16♀	·	5 = *31·3* %	11 = *68·7* %	·

Wie die vorstehende Übersicht zeigt, erscheint an unserem Material das Gesamtobergesicht zwar vorwiegend orthognath (an 50 bis 60 % der Schädel), jedoch kommt daneben recht häufig ein mesognathes Obergesicht vor, und zwar bei den Weibern der Nordgruppe in 20 %, bei den übrigen in 35·6 bis 42·9 % der Schädel. Prognathie des Obergesichtes findet sich an je drei Männern und Weibern der Südgruppe und bei zwei Weibern der Nordgruppe, während Hyperorthognathie in der Südgruppe fehlt und nur zwei männlichen und einem weiblichen Schädel der Nordgruppe zukommt. Bei den Schädeln mit prognathem Obergesicht beträgt der Profilwinkel 78 bis 79°, nur in einem Falle, an dem männlichen Schädel der Südgruppe Nr. 2 sinkt er auf 74° herab. Es ist dies der wiederholt, namentlich wegen seines außergewöhnlich hohen Index craniofacialis hervorgehobene, sehr breitgesichtige Schädel mit kurzem Nasenfortsatz des Stirnbeins, sehr breiter winkelförmig eingesenkter Nasenwurzel und besonders hohem Nasenindex. Von den Hyperorthognathen haben zwei einen Profilwinkel von 96° und einer von 93°; alle drei gehören der Nordgruppe an.

Das Mittelgesicht (der nasale Anteil des Obergesichtes) erweist sich in beiden Gruppen und bei beiden Geschlechtern in einer weitaus größeren Mehrheit der Schädel (68·7 bis 79·0 %) als

orthognath. Mesognathes Mittelgesicht findet sich bei den Weibern der Nordgruppe in 31·3 %, im übrigen nur in 17 bis 19 % der Schädel. Prognath ist das Mittelgesicht nur an zwei männlichen Schädeln der Südgruppe (einmal mit 79°, und einmal, an dem Schädel Nr. 2 mit 75°), hyperorthognath an je zwei männlichen Schädeln der Süd- und Nordgruppe, sowie an einem weiblichen der Südgruppe, wobei der Mittelgesichtswinkel zwischen 93 und 97° schwankt.

Die Einstellung des Zahnfächerfortsatzes verhält sich ziemlich ungleichmäßig, wenn auch im allgemeinen die Prognathie desselben vorherrschend ist. Am häufigsten tritt diese unter den Weibern der Südgruppe hervor, von welchen 62·2 % prognath und 13·5 % hyperprognath sind, neben 18·9 % meso- und 5·4 % orthognathen. Im Gegensatz dazu gibt es unter den Weibern der Nordgruppe nur 53·3 % prognathe, hingegen 20·0 % meso- und 26·7 % orthognathe. Von den männlichen Schädeln weisen wieder die der Südgruppe einen hohen Prozentsatz von alveolarer Prognathie auf (67·8 %), jedoch finden sich bei ihnen daneben 8·5 % meso- und 22·5 % orthognathe, und nur ein Schädel ist hyperprognath. Ganz anders verhalten sich die Männerschädel der Nordgruppe; bei ihnen sind die prognathen auf 39·3% beschränkt, während 32·1 % in die Kategorie der Mesognathen und 25 % in die der Orthognathen fallen; auch unter ihnen ist nur ein Schädel hyperprognath. Im ganzen bewegt sich die alveolare Hyperprognathie zwischen 67 und 69 und nur bei dem leptoprosopen weiblichen Schädel der Südgruppe Nr. 50 bleibt sie auf 64° zurück. Die oberste Grenze der alveolaren Orthognathie wird von drei männlichen Schädeln der Nordgruppe mit 92° erreicht. Als ultraprognath, mit 59° alveolarer Prognathie — erscheint an unserem ganzen Materiale nur der männliche, negerartige Schädel Nr. 36 der Südgruppe, bei der Obergesichtsprognathie von 76° und dem Mittelgesichtswinkel von 80°. Dieser Schädel ist wegen prämaturer Synostose der Pfeilnaht von der Tabellisierung ausgeschlossen worden.

Unterkiefer.

Nur eine verhältnismäßig kleine Zahl unserer Schädel ist mit dem Unterkiefer versehen — in der Nordgruppe 36, in der Südgruppe 8. In Anbetracht der Geringfügigkeit dieses Materiales, namentlich in der Südgruppe, verzichte ich auf die ausführliche Wiedergabe und Besprechung der gewonnenen Messungsergebnisse und beschränke mich auf die folgenden Mitteilungen.

Unter diesen 44 Unterkiefern zeigen drei an der hinteren Fläche ihres vorderen Abschnittes eine sehr gut ausgeprägte Fossa genioglossi. Es ist dies eine für die menschenähnlichen Affen charakteristische Bildung, welche darin besteht, daß das Ursprungsfeld des Musculus genioglossus in eine verhältnismäßig tiefe, wohl umgrenzte Grube versenkt ist. In ihrer typischen Ausbildung besitzt diese einen kreisförmigen Umriß und ist namentlich nach unten durch einen queren Knochenwulst abgegrenzt, welcher das mehr oder weniger nach unten gekehrte Ursprungsfeld des Musculus geniohyoideus trägt. Ich habe diese Grube im Jahre 1915 auf Grund eines umfänglichen Materiales eingehend erörtert (von altägyptischen Unterkiefern waren mir damals 35 zur Hand) und nachgewiesen, daß sie ihrer Beschaffenheit und Entwicklung zufolge als eine pithekoide Eigenschaft des menschlichen Unterkiefers anzusehen ist, welche bei erwachsenen rezenten Menschen nur äußerst selten und selbst dann nicht in so gut ausgeprägter Form zu finden ist, hingegen an einzelnen altpaläolithischen Unterkiefern (La Naulette, Mauer) vorkommt.[1] Von unserem altägyptischen Material zeigen sie in typischer Ausprägung die weiblichen Schädel der Nordgruppe Nr. 180 und 188, sowie der männliche Schädel der Südgruppe Nr. 2. Dieser letztere Schädel ist überdies durch verhältnismäßig beträchtliche Länge des Unterkieferastes (62 *mm*) bei geringer Breite (36 *mm*) desselben und sehr geringer Differenz zwischen größter und kleinster Breite bemerkenswert (Taf. III), bei dem mäßig großen Unterkieferwinkel

[1] Vgl. C. Toldt. Über den vorderen Abschnitt des menschlichen Unterkiefers mit Rücksicht auf dessen anthropologische Bedeutung, Mitt. d. Wiener anthrop. Ges., 45. Bd., p. 235.

von 123°. Die beiden anderen hierher gehörigen Unterkiefer zeigen diese Eigenschaften nicht. Nur der Unterkiefer des Schädels Nr. 180, dessen Alveolarteil im Bereich der Mahl- und Backenzähne nahezu vollständig geschwunden ist, fällt durch verhältnismäßig bedeutende Astbreite (47 *mm*) bei der beträchtlichen Astlänge von 58 *mm* und die geringe Differenz zwischen größter und kleinster Astbreite (3 *mm*) auf; der Unterkieferwinkel beträgt bei ihm 124°. Alle drei gehören dem Typus II an.

Von dem übrigen vorliegenden Unterkiefermaterial zeichnet sich der Kieferast des männlichen Schädels der Nordgruppe Nr. 146 (Taf. IV) durch die bedeutende Länge (73 *mm*) und Breite (54 *mm*) aus, bei der sehr erheblichen Differenz zwischen größter und kleinster Breite von 15 *mm* und dem verhältnismäßig kleinen Unterkieferwinkel von 115°. Den schmälsten Unterkieferast (größte Breite 35 *mm*) besitzt der weibliche Schädel der Nordgruppe Nr. 162, bei der Astlänge von 50 *mm* und der Differenz zwischen größter und kleinster Breite von 8 *mm* und dem sehr großen Unterkieferwinkel von 135°. Alle hier erwähnten Schädel gehören ausgewachsenen Personen an und sind teils als matur, teils als adult zu bezeichnen.

Körpergröße.

Von den vorliegenden, zu den Kubanieh-Schädeln gehörenden Skeletten sind nur 11 soweit erhalten, daß das Längenmaß sämtlicher Röhrenknochen der oberen und der unteren Gliedmaßen genau festgestellt werden konnte. Unter Zugrundelegung dieser Maße ergaben sich, nach der bekannten Methode Manouvrier's berechnet, die folgenden Körpergrößen:

Bei drei Männern der Südgruppe beträgt sie 164·6, 166·9 und 180·0 *cm*; bei fünf Männern der Nordgruppe 160·0, 162·0, 164·6, 165·8 und 171·1 *cm*. Von den weiblichen Skeletten gehören zwei mit 153·5 beziehungsweise 164·2 *cm* der Nordgruppe und eines mit 166·1 *cm* der Südgruppe an. Bemerkenswert ist, daß zu dem männlichen Skelett der Südgruppe, welches das besonders hohe Maß der Körpergröße von 180 *cm* aufweist, der außergewöhnlich kleine Schädel Nr. 2 gehört.

Schädeltypen.

In Bezug auf eine Reihe von Formverhältnissen, wie sie sich dem prüfenden Auge, zunächst ohne Rücksicht auf die Messungsergebnisse darbieten, hebt sich aus der Gesamtheit der vorliegenden Schädel eine verhältnismäßig kleine Anzahl durch gewisse gemeinsame Züge soweit ab, daß man im großen und ganzen von zwei Schädeltypen sprechen kann. Der eine — Typus I — ist weitaus zahlreicher vertreten und faßt jene Schädel in sich, welche bei im ganzen zarteren Formen durch flachen Scheitel, glatte Stirn, langes oder mittellanges Gesicht, große, rundliche oder rhomboidale Augenhöhleneingänge, flache oder nur leicht eingebogene Nasenwurzel auffallen (Taf. I und II), während die übrigen — Typus II — durch kräftigeren Gesamtbau, seitlich abdachenden Scheitel, starke Ausbildung der Brauenbögen, kürzeres Gesicht, niedere Augenhöhleneingänge und stark eingebogene oder winkelig eingesenkte Nasenwurzel gekennzeichnet sind (Taf. III und IV).

Allerdings sind die genannten Eigenschaften nicht an allen Schädeln in gleichem Maße ausgeprägt und ihr Zusammentreffen an einem Schädel nicht ein durchaus gleichmäßiges, ja es gibt Schädel, deren Zuteilung zu dem einen oder anderen Typus zweifelhaft erscheint (Übergangs- oder Mischformen). So wäre beispielsweise der Schädel Nr. 54, der übrigens mit prämaturer Synostose der Pfeilnaht behaftet ist, nach der Schädelbildung dem Typus II, der Gesichtsform nach aber dem Typus I zuzuweisen. Solche Schädel, es gibt ihrer im ganzen nur neun, habe ich dem Typus I zugezählt, weil es mir darauf ankam, den reinen Typus II tunlichst scharf herauszuheben (vgl. Tabelle I).

Von der Gesamtheit der in Betracht kommenden 180 Schädel fallen 146 dem Typus I, der Rest von 34 Schädeln dem Typus II zu, und zwar verteilen sie sich in der Weise, daß der Typus I einschließlich der Mischformen in der Südgruppe durch 102 (56 ♂, 46 ♀), in der Nordgruppe durch 44 (28 ♂, 16 ♀) Schädel vertreten ist, hingegen dem Typus II in der Südgruppe 19 (15 ♂, 4 ♀) und

in der Nordgruppe 15 (9 ♂, 6 ♀) Schädel angehören. Mit Rücksicht auf die viel kleinere Schädelzahl der Nordgruppe kommt somit der Typus II in dieser verhältnismäßig häufiger vor als in der Südgruppe (in 25·40 % der ersteren, gegen 15·7 % der letzteren).

Im besonderen ist bei den Schädeln vom Typus II die größte Länge durchschnittlich entschieden bedeutender, dementsprechend unter ihnen die Schädel mit 190 *mm* und darüber weit zahlreicher als beim Typus I, beispielsweise in der Südgruppe in 27 gegen 5 % der Schädel, und an keinem von ihnen beträgt sie weniger als 174 *mm,* während beim Typus I unter den Männern 10 %, unter den Weibern 14 % der Schädel eine größte Länge von 170 und weniger aufweisen.

In Bezug auf die größte Breite waltet bei den Männern ein solcher Unterschied nicht ob, bei den Weibern aber ist sie durchschnittlich, namentlich in der Südgruppe, etwas beträchtlicher. Demgemäß gestaltet sich auch die Gruppierung der Schädel vom Typus II nach dem Längen-Breitenindex. Von den Männern der Süd- wie der Nordgruppe fällt nur je ein Schädel mit dem Längen-Breitenindex von 75, beziehungsweise 76 in das Bereich der Mesokephalie, alle übrigen (88·9 %) sind dolichokephal. Anders verhält es sich bei den Weibern der Südgruppe, welche mit drei mesokephalen und nur einem dolichokephalen Schädel vertreten sind, während bei den Weibern der Nordgruppe wieder die Dolichokephalie vorherrscht (vier dolichokephale neben zwei mesokephalen Schädeln). Häufig ist auch das Ausladungsprozent der Jochfortsätze des Stirnbeines ein verhältnismäßig großes.

Auch der Index craniofacialis ist beim Typus II durchschnittlich höher, und zwar wieder ganz besonders an den männlichen Schädeln. Bei diesen liegt er sowohl in der Süd- als auch in der Nordgruppe in 83 % der Schädel zwischen 90 und 97 bei den übrigen zwischen 98 und 106; niederer als 90 ist er hier an keinem männlichen Schädel. Beim Typus I erscheint dieser Index zwischen 90 und 97 in der Südgruppe an 55, in der Nordgruppe an 65 % der Schädel; daneben ist er in 35, beziehungsweise 32 % der Schädel niederer (80 bis 89), und ein Index über 98 ist nur einmal und zwar in der Südgruppe mit 100 vertreten.

Ein auffallender Unterschied besteht auch hinsichtlich der Profilierung des Obergesichtes (Profilwinkel), indem bei den Schädeln vom Typus II und zwar insbesondere bei den Männern viel häufiger Orthognathie vorkommt als beim Typus I, bei dem ersteren in der Südgruppe an 85, in der Nordgruppe an 80 % der Schädel, bei dem letzteren in der Südgruppe an 52, in der Nordgruppe nur an 40 % der Schädel. Hinsichtlich der nasalen und alveolaren Prognathie bestehen keine erheblichen Unterschiede.

Es möge noch bemerkt werden, daß sich unter dem ganzen vorliegenden Material nur ein Schädel von entschiedenem Negertypus befindet. Es ist dies der Schädel der Südgruppe Nr. 36, welcher wegen prämaturer Synostose der Pfeilnaht nicht in die Tabellen aufgenommen wurde.

Es liegt nahe, das Vorkommen von zwei gut charakterisierten Schädeltypen mit der Verschiedenheit der in den Grabstätten vertretenen Bevölkerungen in Zusammenhang zu bringen. In dieser Beziehung ist vor allem auf die Ermittlungen H. Junkers zu verweisen. Diesen zufolge haben die Gräberfelder von Kubanieh Süd und Kubanieh Nord nicht den geringsten Zusammenhang; sie liegen eine Wegstunde voneinander entfernt.

Das Gräberfeld von El Kubanieh Süd enthält drei durch große Zeiträume getrennte Nekropolen: eine frühgeschichtliche, vom Ausgang der Prähistorie bis in die ersten Dynastien (um 4000 v. Chr.), eine des Mittleren Reiches (um 2000 v. Chr.) und eine der nachchristlichen Epoche (koptisch und frühmoslimisch). Die letztere kann wegen der Geringfügigkeit des aus ihr vorhandenen Skelettmateriales hier nicht in Betracht gezogen werden. Von Kubanieh Süd trägt der nördlich vom ersten Katarakte gelegene südliche Grenzbezirk noch ganz nubischen Charakter und bietet dasselbe Bild wie andere nubische Nekropolen aus gleicher Zeit. Er enthält nebst den typisch ägyptischen Ton- und Steingefäßen ebenso häufig Typen der charakteristischen nubischen Ware, wobei die ersteren die importierte, die letzteren die lokale Ware darstellen. Die Bevölkerung dieses Bezirkes, mochte er auch politisch zu Ägypten zählen, war eine nubische. Diese »Frühzeit« zerfällt nach Junker in zwei

Perioden. Süd und Nord, von welchen die erstere sich zeitlich nach oben an die letztere anschließt. Dicht an den Bezirk der Nordperiode grenzt nordöstlich der Friedhof des Mittleren Reiches an. Hier ist ausschließlich die ägyptische Kultur vertreten.

Das Gräberfeld El Kubanieh Nord liegt weiter nördlich, bei dem Dorfe Kubanieh gegenüber der Station El Khattara. An ihm heben sich nach Junker zwei Bezirke deutlich von einander ab. Der eine (M), dem Mittleren Reiche angehörend, liegt in der Ebene, am Fuße einer Anhöhe und stammt von eingeborenen Ägyptern her. Der zweite Bezirk liegt westlich davon auf der Anhöhe (C Gruppe), zieht sich aber mit seinen Ausläufern dem Abhang entlang bis zum Bezirke M herab (Mittelgruppe); er ist der Bestattungsort der eingewanderten Nomaden. Während die C Gruppe durch die Stein-Tumuli der fremden, aus dem nördlichen Sudan stammenden Nomaden (Halbnomaden) gekennzeichnet ist, war die Bestattung in der Mittelgruppe nach ägyptischer Art erfolgt, jedoch wird durch manche Umstände erwiesen, daß auch die Mittelgruppe von dem Volke der C Gruppe herrührt.

In den geschilderten Gebieten sind die Schädel vom Typus II folgendermaßen verteilt:

El-Kubanieh Süd:

		Typus II	Mischformen
Frühzeit S (ältere Periode)	von 12 Schädeln:	2 = 16 %	—
» N (jüngere »)	» 50 »	12 = 24 %	4 = 8 %
Mittleres Reich	» 52 »	4 = 7·7%	5 = 9·6%

El-Kubanieh Nord:

Mittleres Reich (M)	von 31 Schädeln:	6 = 19·5 %	—
Eingewanderte Nomaden (C)	» 26 »	8 = 30·8 %	—

Schädel vom Typus II kommen also am häufigsten unter den eingewanderten Nomaden vor. Nicht viel kleiner ist ihr Zahlenverhältnis unter den Nubiern der jüngeren Periode (N), während es in der älteren nubischen Periode (S) noch erheblich geringer erscheint. Auch unter den Ägyptern des Mittleren Reiches ist der Typus II recht ungleich vertreten; am spärlichsten unter allen Gräbergruppen findet er sich im Mittleren Reich von Kubanieh Süd. Auffallend ist, daß Mischformen nur in der letztgenannten Periode und in der jüngeren nubischen Periode (N) auftreten, in allen anderen Gräbergruppen aber vollständig fehlen.

Faßt man diese Gräbergebiete in Bezug auf den Längen-Breitenindex der aus ihnen stammenden Schädel ins Auge, so würden sich, wenn man sich auf die Mittelzahlen desselben stützt, nicht sehr belangreiche Unterschiede ergeben. Für die männlichen Schädel liegt diese Mittelzahl zwischen 73·6 und 73·9, nur für die Periode des mittleren Reiches von Kubanieh Süd erhebt sie sich auf 74·5. Bei den weiblichen Schädeln ist das Mittel des Längen-Breitenindex ausnahmslos etwas höher als das der betreffenden männlichen und bewegt sich im allgemeinen zwischen 74·3 und 75·5. Nur für die Gruppe der eingewanderten Nomaden besteht eine Ausnahme, indem dem Mittel des Längen-Breitenindex der Männer von 73·6 ein solches der Weiber von 73·8 gegenübersteht. Übrigens geben diese Mittelzahlen keineswegs ein erschöpfendes Bild von dem Verhalten des Längen-Breitenindex der Schädel in den verschiedenen Gräbergebieten. So erscheint beispielsweise unter den männlichen Schädeln der Frühzeit N bei der Mittelzahl des Längen-Breitenindex von 73·6 die weit überwiegende Mehrzahl (73 %) als dolichokephal und nur 27 % als mesokephal, während bei genau gleicher Höhe des Indexmittels von den männlichen Schädeln der eingewanderten Nomaden sich 60 % als dolichokephal und 40% als mesokephal erweisen. Am meisten überwiegt die Dolichokephalie unter den männlichen Schädeln der jüngeren nubischen Periode (73 %) und in erheblichem Maße auch bei den männlichen Schädeln aus den beiden Perioden von Kubanieh Nord (je 67 %), also in jenen Gräbergebieten, in welchen die Schädel vom Typus II am stärksten vertreten sind. Mesokephalie kommt unter den

Männern am häufigsten (mit je 40 %) in der älteren nubischen Periode (S) sowie in dem Mittleren Reiche von Kubanieh Süd vor, unter den Weibern am häufigsten (mit 60%) im mittleren Reiche von Kubanieh Nord. Brachykephale Schädel finden sich nur ganz ausnahmsweise und zwar zwei unter den weiblichen und einer unter den männlichen aus dem Mittleren Reich von Kubanieh Süd, sowie einer in der jüngeren nubischen Periode (N). Durchwegs handelt es sich dabei um niedrige Grade der Brachykephalie und zwar zweimal mit dem Index 80 und je einmal mit dem Index 81 und 82.

Soweit das Tatsächliche. Auf die vielfach erörterte Frage nach den im Ägyptervolke enthaltenen Rassenelementen soll hier nicht näher eingegangen werden, auch bezüglich der reichen darauf bezüglichen Literatur möge nur auf die wichtigsten neueren Abhandlungen, und zwar von J. Kollmann: Die Gräber von Abydos (Korr. Bl. d. d. anthr. Ges., 1902), G. Schwalbe: Zur Frage der Abstammung des Menschen (Ztschr. f. Morph. u. Anthropologie (1906), Herm. Stahr: Die Rassenfrage im antiken Ägypten (Berlin und Leipzig 1907) und Br. Oetteking: Kraniologische Studien an Altägyptern (Arch. f. Anthrop. 1909) verwiesen werden.

Die Ergebnisse meiner Untersuchungen scheinen mir einen positiven Schluß auf das Eingreifen bestimmter Rassenelemente in den Aufbau und damit in den anthropologischen Charakter des altägyptischen Volkes nicht zu gestatten. Allerdings könnte der Vermutung Raum gegeben werden, daß der Typus II unserer Schädel und mit diesem ein höherer Grad von Dolichokephalie durch die aus dem Sudan eingewanderten Nomaden in das Land gebracht worden sei und im Laufe der Zeit durch den Verkehr mit den benachbarten Siedelungen auch bei den Nubiern und Altägyptern Eingang und Verbreitung gefunden haben dürfte. Allein nichts berechtigt uns zur Annahme, daß dieser Schädeltypus vorher in der altansässigen Bevölkerung vollständig gefehlt habe.

Ob der merkwürdige Umstand, daß unter der kleinen Zahl unserer Schädel vom Typus II — und nur bei diesen — die für den erwachsenen Menschen der Gegenwart so außerordentlich seltene Fossa genioglossi des Unterkiefers (vgl. p. 41) auffallend häufig vorkommt, geeignet sei ein Licht zu werfen auf die Herkunft dieses Typus oder auf die besondere Art desselben, vermag ich nicht zu entscheiden. Jedenfalls darf diese Tatsache nicht außer acht gelassen werden.

Was aus meinen Untersuchungen mit Sicherheit hervorgeht, ist das folgende:

1. In den Gräberfeldern von Kubanieh sind Überreste einer ausgesprochen kurzköpfigen Rasse nicht enthalten.

2. Eine irgendwie erhebliche Beimengung von Negerelementen in denselben ist nicht erweislich.

3. Die Bevölkerungen, deren Überreste diese Gräberfelder bergen, sind keineswegs einheitlicher Abstammung, sondern in jedem derselben finden sich, in ungleichem Maße gemengt, mindestens zwei verschiedene Rassenelemente vor, deren Spuren sich in der Schädel- und Gesichtsbildung offenbaren.

In letzterer Hinsicht stimmen meine Erfahrungen insofern mit der seit Blumenbach von allen Autoren geteilten Auffassung überein, daß in der Bevölkerung Ägyptens wenigstens zwei Typen vertreten sind, welche nach dem Vorgange Pruner-Beys (1846 und 1861) als »feiner« und »grober« Typus bezeichnet zu werden pflegen, zwischen welchen aber vielfach Übergänge bestehen. Es muß jedoch hervorgehoben werden, daß bei Feststellung dieser beiden Typen keineswegs Übereinstimmung geherrscht hat; denn einige Autoren nahmen dabei nur die Beschaffenheit der Schädel, andere auch die Haar- und Barttracht und überkommene antike Bildwerke zur Grundlage; einige Autoren zogen nur die alte, andere auch die rezente Bevölkerung in Betracht. So kommt es, daß die Autoren auch hinsichtlich der Charakteristik dieser beiden Typen nicht durchaus übereinstimmen. Im großen und ganzen dürfte sich die Schädelform, welche ich unvorgreiflich als Typus II angeführt habe, mit dem »groben« Typus von Pruner Bey decken. Übrigens haben u. A. Em. Schmidt (1888) 6, Flinders Petrie (1901) 7, Kollmann (1902) 4 verschiedene Rassentypen unter den Ägyptern zu unterscheiden sich veranlaßt gefunden.

Angesichts des Umstandes, daß schon die ältesten Bewohner Ägyptens, soweit wir von ihnen Kunde haben, nicht reinrassig waren und daß dieses fruchtbare, von allen Seiten her offene Land

immer wieder den Zielpunkt für Zuzüge fremder Völker abgab, von welchen wir vielfach nicht wissen, ob sie in großen Massen oder in kleineren Gruppen, ob in feindlicher oder friedlicher Absicht erschienen sind und auch nur zum kleinen Teil wissen, wer sie waren, woher sie kamen und in welchem Maße sie sich mit den vorher vorhandenen Bewohnern vermischt oder ob sie diese stellenweise vollständig verdrängt haben, angesichts aller dieser Umstände gestaltet sich das Rassenproblem Ägyptens so außerordentlich schwierig, daß wir eine befriedigende Lösung desselben, wenn überhaupt, so doch kaum in absehbarer Zeit erwarten können.

Anhang.

I. Varietäten und Anomalien am Schädel.

1. Abnorme Einsenkungen. Mäßige quere Einsattelung des Scheitels hinter der Kranznaht kommt in der Nordgruppe zweimal, in der Südgruppe 17 mal vor, nur an dem Schädel der Südgruppe Nr. 121 erreicht sie ein beträchtliches Maß. Der Schädel der Nordgruppe Nr. 154 besitzt im Bereiche der oberen Schläfengrube beiderseits eine starke, in senkrechter Richtung verlaufende rinnenförmige Einsenkung des großen Keilbeinflügels (Sulcus sphenoparietalis). An dem adulten Schädel von Kubanieh Nord Nr. 168 besteht bei durchaus offenen Nähten entlang der ganzen Pfeilnaht eine leichte Depression, welche beiderseits von einem fortlaufenden flachen Wulste begleitet ist; daneben, sowie in der oberen Hälfte der Stirnbeinschuppe zeigt der Knochen eine auffallende poröse Beschaffenheit seiner äußeren Oberfläche. Eine ähnliche Depression weisen die Schädel Nr. 57 der Südgruppe und Nr. 167 der Nordgruppe auf, jedoch ist sie bei dem letzteren auf die hintere Hälfte der Pfeilnaht beschränkt und eine poröse Beschaffenheit der Knochenoberfläche ist bei ihnen nicht vorhanden. Flache, mehr oder weniger ausgebreitete, meistens dreieckige symmetrische Depression am hinteren Abschnitt des Scheitels findet sich als senile Veränderung dreimal in der Süd- und zweimal in der Nordgruppe. Depression des Scheitels im ganzen Bereich zwischen den oberen Schläfenlinien infolge von hochgradiger seniler Knochenatrophie findet sich an dem weiblichen Schädel Nr. 91 von Kubanieh Süd, und zwar neben vollständiger seniler Obliteration der Pfeil- und Kranznaht. Erwähnenswert ist noch die außergewöhnliche Flachheit der Schädelbasis an dem Schädel Nr. 41 der Südgruppe, und zwar gleichmäßig in der sagittalen wie in der queren Richtung. Der untere Rand der Synostosis sphenobasilaris, Basion und Opisthion liegen genau in einer Ebene, welche zur Horizontalen um 19° nach hinten und unten geneigt ist. Dabei liegt das Basion um 7 und das Opisthion um 19 *mm* tiefer als der untere Rand der Synostosis sphenobasilaris. Auch der Schädel Nr. 114 der Südgruppe besitzt eine auffallend flache Basis. — Das große Hinterhauptloch besitzt an dem Schädel Nr. 57 der Südgruppe eine 3·5 *mm* tiefe Ausbuchtung seines hinteren Randes (Incisura marginalis posterior).

2. Abnorme Erhebungen und Fortsätze. Wahre Brauenwülste besitzen nur zwei Schädel der Nordgruppe: Nr. 142 und 168. Ein voll ausgebildeter Torus occipitalis kommt in der Nordgruppe zweimal an männlichen Schädeln vor; ein männlicher Schädel der Süd- und ein weiblicher Schädel der Nordgruppe zeigen einen solchen nur andeutungsweise. Eine ausnahmweise stark vorspringende Protuberantia occipitalis externa wurde je dreimal in der Süd- und Nordgruppe und zwar immer nur an männlichen Schädeln beobachtet. Ein Processus paramastoideus findet sich an einem Schädel der Südgruppe auf der linken Seite vor. Andeutungen eines Proatlas sind an sieben Schädeln (6 ♂, 1 ♀) der Südgruppe und 4 Schädeln der Nordgruppe (2 ♂, 2 ♀) zu erkennen, und zwar in Form von paarigen Tubercula basilaria (9mal), oder eines aus Verschmelzung dieser hervorgegangenen großen medianen Höckers (2 mal) in der Nähe des vorderen Randes des großen Hinterhauptloches.

3. Nahtanomalien und Schaltknochen. Offene Stirnnaht findet sich an drei männlichen und einem weiblichen Schädel; an einem anderen weiblichen Schädel ist sie streckenweise in Verschmelzung

begriffen. Eine durchlaufende Sutura occipitalis transversa kommt je einmal in der Nord- und Südgruppe vor, und zwar an Schädeln, welche auch Tubercula basilaria besitzen (Nr. 77 Süd und 163 Nord). Einmal wurde eine besonders lange Sutura mendosa beobachtet. Bemerkenswert ist eine Anomalie der Kranznaht an dem Schädel Nr. 112 der Südgruppe. In ihrem obersten Teil ist sie symmetrisch nach hinten abgeknickt, so daß die Stirnbeinschuppe einen medianen, nach hinten ausspringenden, 12 *mm* breiten Fortsatz besitzt, durch welchen das Bregma um 5 *mm* nach hinten verschoben wird. (Mit dem Stirnbein verschmolzener Schaltknochen.) Von abnormen Nahtverschmelzungen ist die prämature Obliteration der Pfeilnaht an vier männlichen Schädeln der Südgruppe hervorzuheben.

Schaltknochen in sehr wechselnder Zahl, Größe und Form kommen am häufigsten in der Lambdanaht vor; besonders zahlreich sind sie an dem bathrokephalen männlichen Schädel Nr. 45 der Südgruppe. Abgesehen von kleinen Spitzenknochen wurde ein großes Os präinterparietale laterale dreimal in der Nord- und zweimal in der Südgruppe, sowie einmal ein Os präinterparietale medianum in der Nordgruppe beobachtet. An dem kindlichen Schädel Nr. 35 schließt sich an ein medianes rechts ein laterales Präinterparietale unmittelbar an. Kleine Schaltknöchelchen sind nicht selten in der Gegend des Asterion zu sehen.

Recht häufig tritt das Os epiptericum auf; gewöhnlich ist es einfach, in einzelnen Fällen geteilt. Es findet sich in der Südgruppe 14 mal beiderseitig, sechsmal nur auf der rechten und ebenso oft nur auf der linken Seite; in der Nordgruppe dreimal beiderseitig, viermal nur rechts und 5 mal nur links. Im Zusammenhang damit steht das Vorkommen eines Processus frontalis der Schläfenschuppe, insoferne, als derselbe nichts anderes als ein mit dieser verschmolzenes Os epiptericum darstellt. Ein solcher Fortsatz der Schläfenschuppe findet sich in der Südgruppe einmal beiderseitig, je einmal einseitig rechts und links; in der Nordgruppe nur einmal auf der linken Seite. An dem weiblichen Schädel Nr. 110 der Südgruppe fügt sich die Schläfenschuppe ohne Vermittlung eines Fortsatzes eine kurze Strecke weit unmittelbar an das Stirnbein an. An außergewöhnlichen Stellen des Schädels wurden Schaltknochen beobachtet: zweimal in der Pfeilnaht, einmal in dem unteren Abschnitt der rechten Kranznahthälfte und sechsmal in der Schuppennaht.

Der Gesichtsteil des Schädels weist zunächst nicht selten Nahtanomalien in der Gegend der Nasenwurzel auf. Ein zwischen Nasenanteil des Stirnbeins, Nasenfortsatz des Oberkiefers und Tränenbein eingefügter Schaltknochen (Os lacrimale anterius) wurde fünfmal beobachtet. An zwei Schädeln ist der Nasenfortsatz des Oberkiefers beiderseits durch eine lineare, schief vom lateralen Abschnitt der Sutura nasofrontalis nach hinten und unten zur vorderen Tränenleiste absteigende Naht in einen oberen und unteren Abschnitt geteilt, so daß der erstere als Schaltknochen erscheint. Ein kleines Schaltknöchelchen in der Sutura nasofrontalis kommt einmal vor. Vollständige Synostose der Sutura internasalis besteht an zwei Schädeln. An dem Schädel Nr. 2 sind beide Nasenbeine verkümmert, bei außergewöhnlicher Breite der vorderen Nasenöffnung. — Verhältnismäßig häufig sind endlich Anomalien des Jochbeins. Vollständige Querteilung desselben findet sich zweimal in der Nordgruppe beiderseits und einmal in der Südgruppe auf der linken Seite sowie in der Nordgruppe auf der rechten Seite; unvollständig ist sie einmal beiderseits in der Südgruppe. Eine sogenannte »hintere Ritze« erscheint je dreimal in der Süd- und Nordgruppe beiderseits, in beiden Gruppen je viermal nur auf der linken Seite und einmal in der Nordgruppe nur auf der rechten Seite. Ein scharf vortretender, durch eine nahtähnliche Furche gut abgegrenzter Processus marginalis des Jochbeins kommt in beiden Gruppen je einmal vor. — Bezüglich der Fossae pränasales und der Cribra orbitalia wurde schon oben auf p. 33 und 36 berichtet.

II. Postmortale Substanzverluste.

Eine verhältnismäßig große Zahl von Schädeln aus El-Kubanieh zeigt an der äußeren Oberfläche eigentümliche Substanzverluste, welche ihrer Beschaffenheit nach bestimmt nicht krankhafter, beziehungsweise traumatischer Natur, also nicht während des Lebens entstanden sind, ebensowenig aber bei der

Ausgrabungsarbeit zugefügt worden sein können. Sie müssen sich somit während des Liegens des Leichnams im Grabe im Laufe der Zeit aus irgend einer chemischen oder mechanischen Ursache gebildet haben.

Ihr Sitz ist vor allem die Schläfengegend und zwar entschieden vorwiegend die linke, dann auch die Stirn- und Scheitelgegend, selten das Hinterhaupt oder das Gesicht. Diese Substanzverluste erscheinen unter zweierlei Bild: einerseits als flache, breite Erosionen, andrerseits als kleine, mehr oder weniger tief eindringende Grübchen oder durchgreifende Löchelchen.

1. Flache Erosionen. (Taf. V, Schädel Nr. 26). Sie erscheinen als annähernd kreisrunde, scharf umgrenzte, flache, 5 bis 15 *mm* im Durchmesser haltende Substanzverluste an der äußeren Schädelfläche, welche mehr oder weniger weit in die Tiefe gehen und sehr häufig in die Diploe eingreifen. In dem letzteren Falle ist jede einzelne Erosion von einem kompakten, 1 bis 2 *mm* breiten, schief zur Diploe abfallenden Saum umkreist, welcher der äußeren kompakten Knochentafel angehört. An manchen Schädeln kommen sie nur vereinzelt, an anderen in größerer Zahl vor. Einzelne an der Kranz- oder Pfeilnaht liegende Erosionen begrenzen sich nicht an der betreffenden Naht, sondern greifen über diese hinaus, so daß sie sich auf beide angrenzenden Knochen (Scheitelbeine, beziehungsweise Stirnbein) erstrecken. Häufig fließen zwei oder mehrere von diesen Erosionen zusammen, wodurch dann ein größerer, von gebuchteten Rändern umgrenzter Substanzverlust entsteht; ist dieser sehr umfangreich, so liegt stellenweise selbst die innere kompakte Knochenplatte frei vor.

Sehr bemerkenswert sind einzelne Stellen am Scheitel- oder Stirnbein, an welchen ein annähernd kreisrundes, 5 bis 15 *mm* im Durchmesser haltendes Stück der äußeren Knochentafel durch eine enge, schief von der Oberfläche gegen die Tiefe eindringende Spalte ganz scharf abgegrenzt und von der Peripherie her unterminiert erscheint. Nicht selten findet sich ein größerer oder kleinerer Abschnitt einer solchen Spalte im Anschluß an eine Erosion. Diese Erscheinung läßt keinen Zweifel darüber, daß an solchen Stellen der Anfang zur Bildung einer Erosion vorliegt, indem die Abstoßung eines kreisförmigen Stückes der oberflächlichen Schichte der äußeren kompakten Knochentafel eingeleitet ist.

2. Grübchen und Löchelchen (Taf. VI). Sie sind kleine, scharf umgrenzte Substanzverluste von rundlichem Umriß, welche entweder als Grübchen mehr oder weniger in die Tiefe des Knochens reichen, oder auch noch die innere kompakte Knochentafel durchsetzen und so als Löchelchen erscheinen. An der äußeren Oberfläche des Knochens haben sie einen Durchmesser von 1·5 bis 3 *mm*; sie verjüngen sich jedoch nach der Tiefe hin und sind daher mehr oder weniger deutlich trichterförmig. Ihre Ränder, beziehungsweise Wände sind geglättet, zumeist deutlich gerifft oder nach der Tiefe hin geschichtet, manchmal im Bereiche der Diploe leicht ausgebuchtet. Wenn sie auch die innere kompakte Knochentafel durchsetzen, so besitzt diese eine rundliche oder ovale, ganz glatte und scharfrandige Öffnung, welche stets kleiner ist als die Öffnung an der äußeren Oberfläche.

Beide Formen des Substanzverlustes können sich nebeneinander an einem Schädel vorfinden.

Es ist noch hervorzuheben, daß Substanzverluste beider Formen sowohl an Schädeln vorkommen, deren Oberfläche leicht verwittert erscheint, wie auch an solchen, deren Oberfläche ganz glatt, wie frisch mazeriert aussieht.

Ohne auf diese Erscheinungen im einzelnen näher einzugehen, will ich nur in Betreff ihrer Häufigkeit folgendes bemerken. Flache Erosionen wurden in der Südgruppe 30 mal, und zwar an 10 Schädeln vereinzelt, an 20 Schädeln in größerer Zahl beobachtet, in der Nordgruppe an 17 Schädeln, und zwar neunmal vereinzelt und achtmal in größerer Zahl. Sie finden sich also im ganzen an 47 von 192 Schädeln, das ist in 24·5 % derselben. Etwas häufiger noch begegnet man den Grübchen und Löchelchen. Sie finden sich in der Südgruppe an 36 Schädeln (25 mal vereinzelt, 11 mal in größerer Zahl), in der Nordgruppe an 16 Schädeln (zehnmal vereinzelt, sechsmal in größerer Zahl). Im ganzen erscheinen sie also an 52, das ist 27 % aller Schädel. Ein wesentlicher Unterschied bezüglich der Häufigkeit ihres Vorkommens in der Süd- und Nordgruppe besteht somit nicht.

Die beiden besprochenen, für unsere Kubanieh-Schädel geradezu charakteristischen Arten von Substanzverlusten haben nichts gemein mit jenen Abschilferungen einer ganz dünnen oberflächlichen Schichte der kompakten Sustanz, welche in kleineren oder größeren Herden an allen Teilen des Hirn- und Gesichtsschädels zur Beobachtung kommen, und zwar nicht nur an den vorliegenden, sondern auch an anderen durch lange Zeit in der Erde gelegenen Schädeln. Sie sind nichts anderes als Erscheinungen der Verwitterung (Taf. V, Schädel Nr. 31).

Von großem Interesse war es aber für mich, über die Entstehungsursche der beiden charakteristischen Formen des Substanzverlustes ins Klare zu kommen. Von vornherein war anzunehmen, daß sie in der besonderen Beschaffenheit des Bodens zu suchen ist, in welchem die Schädel Jahrtausende hindurch gelegen waren. Denn ihrer ganzen Beschaffenheit nach war es vollkommen ausgeschlossen, daß sie etwa während des Lebens entstanden waren, also krankhafter Natur seien. Dies wurde mir auch durch den verstorbenen Professor Kolisko, einem der besten Kenner der Knochenpathologie bestätigt.

In Bezug auf die flachen Erosionen scheint mir speziell der außerordentlich große Salzgehalt des Bodens in Betracht zu kommen, und da alle Phasen ihrer Ausbildung erkennbar sind, kann man sich ihre Entstehung folgendermaßen erklären. Es ist anzunehmen, daß sich kleine, feste Teilchen einer auf den Knochen einwirkenden Substanz, also kleine Salzkörnchen an die Schädeloberfläche angelagert haben, welche im Laufe langer Zeiträume allmählich zur Lösung kamen.

Indem die Lösung in die kompakte Knochensubstanz eindrang, erzeugte sie in dieser molekulare Umlagerungen und infolge dieser Spannungsveränderungen in den oberflächlichen Knochenschichten, welche schließlich zu Kontinuitätstrennungen führten. Diese letzteren wurden durch das Auslaugen der Schädel in Wasser noch wesentlich befördert, denn, wie direkt beobachtet wurde, sind im Laufe dieser Prozedur an den betreffenden Stellen noch oberflächliche Knochenplättchen abgesprungen. Die regelmäßig kreisrunde Form und ganz scharfe Umgrenzung der abgesprengten kompakten Plättchen und daher auch der Substanzverluste, sowie die schief abfallenden Ränder der letzteren, weisen entschieden darauf hin, daß die Einwirkung der gelösten Substanz von einer ganz scharf umgrenzten Stelle ausgegangen ist, welche dem Mittelpunkte des abgesprengten Plättchens, beziehungsweise dem ursprünglich angelagerten Salzkörnchen entspricht. Die Infiltration des Knochens mit der gelösten Substanz drang deshalb in den mittleren Teilen des Plättchens am tiefsten ein und verlor sich allmählich in dem schief abgeschrägten Randteile des letzteren. Auch der Umstand, daß die flachen Erosionen vom Anfang an (primär) niemals mehr als ungefähr 15 *mm* Durchmesser besitzen, spricht für diese Entstehungsweise. Umfangreichere Erosionen dieser Art sind offensichtlich immer durch das Zusammenfließen von zwei oder mehreren primären zustande gekommen. Vielfach sieht man, wie schon oben erwähnt, noch festsitzende kreisrunde Plättchen der kompakten Substanz, deren Rand manchmal eine Strecke weit nur durch einen linearen Saum angedeutet, im übrigen aber leicht vertieft oder bereits mehr oder weniger unterminiert ist, so daß er sich als eine schief in die kompakte Substanz eindringende Spalte darstellt. So kann man die Ausbildung dieser Erosionen in allen ihren verschiedenen Phasen erkennen.

Anders verhält es sich mit der zweiten Form der Substanzverluste, den Grübchen und Löchelchen. Diese sind wohl sicher auf Insektenfraß zurückzuführen. Meiner Erfahrung nach findet man sie, allerdings selten, auch an anderen ausgegrabenen Schädeln, wie zum Beispiel an einem im Wiener naturhistorischen Hofmuseum aufbewahrten Negerschädel. In dem Werke: The Archaeological Survey of Nubia, Report for 1907—1908, Cairo 1910, ist ein gutes Beispiel dafür auf Plate XXX abgebildet und im Texte (p. 212) bemerkt, daß dieser Zustand von Benagung durch ein Insekt herrührt. Auch Kollman (Termitengänge im Schädeldach zweier amerikanischer Pygmäen, Arch. f. Anat. und Phys. 1915) berichtet über ähnliche Zustände an südamerikanischen Schädeln, in deren Inneren sowie in den Graburnen die Reste von Termitenbauen noch vorhanden waren. An diesen Objekten scheinen jedoch die Substanzverluste einen weit höheren Grad erreicht zu haben als wie an unseren altägyptischen

Schädeln. Bei diesen liegt der Angriffspunkt in den meisten Fällen an der äußeren Oberfläche des Schädels, wo man auch öfters feine Benagungsfurchen gegen den Rand des Grübchens hinziehen sieht (Taf. VI, Schädel Nr. 42).

An Bruchstücken des Schädeldaches kommt es aber auch vor, daß Grübchen und Löchelchen von der Innenfläche aus gegen die Außenfläche vordringen. An diesen Objekten fällt auf, daß das Gebiet, in welchem sich die Grübchen befinden, braun gefärbt ist, während die übrigen Teile der Knochenoberfläche, so wie die Außenfläche des Knochens weiß sind. Man darf vermuten, daß an der betreffenden Stelle eingetrocknete Hirnreste angelagert waren, welche zunächst von den Insekten befallen wurden. An einem anderen Schädel, an dessen Außenfläche noch die eingetrockneten Weichteile hafteten, waren diese von zahlreichen, bis an den Knochen heranreichenden Löchelchen durchsetzt.

Tabelle I.

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längen-Breitenindex geordnet.

El-Kubanieh Süd.

♂

Nr.	Junkers Original-bezeichnung	Gr. L.	Gr. Br.	L.-Br.-Index	Kl. St.-Br.	Breitenindex	Gr. St.-Br.	Querer Stirnindex	Äußere Biorbital-Br.	Ausladungsprozent
†106	P, 91	200	136	68·0	96	63·2	110	78·2	103	7·3
101	29, p, 2	191	134	70·2	86	64·2	107	80·4	97	12·8
15[1]	20, h, 7	175	123	70·3	81	65·9	100	81·0	92	13·6
22	21, f, 3	185	130	70·3	87	66·9	103	84·5	105	20·7
† 60	25, o, 4	192	135	70·3	97	71·9	110	88·2	109	12·4
† 2	15, d, 1	175	124	70·9	91	73·4	100	91·0	109	19·8
†105	P, 35	189	134	70·9	92	68·7	—	—	104	13·0
24	21, g, 5	186	133	71·5	83	62·4	—	—	—	—
94	27, r, 6	186	133	71·5	92	69·2	109	84·4	101	9·8
† 29	21, i, 5	190	136	71·6	98	72·1	118	83·1	105	7·1
124	P, 171	184	132	71·7	99	75·0	111	89·2	103	4·0
†135	P, 250	187	134	71·7	103	76·9	113	91·2	112	8·7
†125	P, 177	186	134	72·0	93	69·4	112	83·0	107	15·1
79	26, s, 1	193	139	72·0	87	62·6	109	79·8	100	14·9
84	26, t, 5	184	133	72·3	93	69·9	107	86·9	106	14·0
70	25, s, 10	171	124	72·5	91	73·4	104	87·5	97	6·6
133	P, 239	190	138	72·6	92	66·7	113	81·4	103	12·0
† 43	22, s, 4	187	136	72·7	89	65·4	107	83·2	102	14·6
†119	P, 149	187	136	72·7	98	72·1	115	85·2	103	5·1
72	26, g, 1	181	132	72·9	85	64·4	102	83·3	97	14·1
104	P, 33	188	137	72·9	95	69·3	120	79·2	101	6·3
† 19	20, k, 1	192	140	72·9	101	72·1	117	86·3	107	5·9
42	22, p, 9	185	135	73·0	90	66·7	108	83·3	98	8·9
† 89	27, p, 1	185	135	73·0	99	73·3	110	90·0	109	10·1
33	22, k, 3	183	134	73·2	99	73·9	112	88·4	105	6·1
*117a	P, 126	180	132	73·3	93	70·5	107	86·9	103	10·8
* 10	19, k, 1	187	137	73·3	91	66·4	116	78·5	105	15·4
134	P, 241	187	137	73·3	88	64·2	108	81·5	101	14·8
130	P, 186b	184	135	73·4	94	69·6	110	85·5	100	6·4
†112	P, 108	188	138	73·4	96	69·6	114	84·2	106	10·4
†136	P, 254	188	138	73·4	91	65·9	109	83·5	111	22·0
25	21, g, 9	175	129	73·7	83	64·3	101	82·2	90	8·4
* 85	26, t, 6	179	132	73·7	90	68·2	110	81·8	100	11·1
*108	P, 94, b	186	137	73·7	92	67·2	111	82·9	100	8·7
53	24, r, 8	183	135	73·8	90	66·7	112	80·4	100	11·1
77	26, qu, 2	173	128	74·0	86	67·2	102	84·3	97	12·8

Nr.	Junkers Original-bezeichnung	Gr. L.	Gr. Br.	L.-Br.-Index	Kl. St.-Br.	Breitenindex	Gr. St.-Br.	Querer Stirnindex	Äußere Biorbital-Br.	Ausladungsprozent
78	26, r, 5	185	137	74·1	97	70·8	115	84·4	103	6·2
122	P, 167	185	137	74·1	95	69·3	118	80·5	107	12·6
55	24, s, 5	178	132	74·2	92	69·7	117	78·6	97	5·4
9	19, j, 5	171	127	74·3	85	66·9	108	78·7	94	10·6
113	P, 108	179	133	74·3	92	69·2	110	83·6	102	10·9
*128	P, 180	185	138	74·6	103	74·6	115	89·6	112	8·7
65	25, qu, 2	174	130	74·7	85	65·4	100	85·0	91	7·1
* 68	25, r, 7	182	136	74·7	91	66·9	111	82·0	102	12·1
†115	P, 116	187	140	74·9	100	71·4	116	86·2	104	4·0
31	22, f, 6	180	135	75·0	95	70·4	128	74·2	106	11·6
120	P, 150	184	138	75·0	99	71·7	112	88·4	103	4·0
† 37	22, m, 6	181	136	75·1	97	71·3	113	85·8	104	7·2
49	24, g, 13	181	136	75·1	96	70·6	—	—	103	7·3
98	28, r, 1	187	141	75·4	92	65·3	108	85·2	—	—
82	26, s, 11	170	129	75·9	93	72·1	102	91·2	104	10·8
48	24, g, 2	184	140	76·1	93	66·4	115	80·9	100	7·5
111	P, 107	188	143	76·1	98	68·5	118	83·1	109	11·2
103	P, 18	185	141	76·2	97	68·8	118	82·2	105	8·3
23	21, g, 1	183	140	76·5	88	62·9	111	79·3	100	13·6
1	?	182	140	76·9	93	66·4	120	77·5	104	11·8
73	26, p, 1	175	135	77·1	94	69·6	112	83·9	102	8·5
51	24, p, 2	179	138	77·1	87	63·0	111	87·4	95	9·2
102	29, p, 5	179	138	77·1	93	67·4	115	80·8	98	5·4
17	20. j, 5	176	136	77·3	93	68·4	111	83·8	105	12·9
59	25, o, 3	181	140	77·4	88	62·9	114	77·2	93	5·7
83	26, s, 12	186	144	77·4	89	61·9	115	77·4	97	9·0
64	25, p, 9	178	138	77·5	97	70·3	110	88·2	102	5·2
* 18	20, j, 5	182	141	77·5	94	66·7	113	83·2	105	11·7
28[1]	21, i, 3	179	140	78·2	94	67·1	115	81·7	102	8·5
57	25, i, 1, b	163	128	78·5	79	61·7	96	82·3	93	17·7
21	21, f, 1	185	146	78·9	98	67·1	127	77·2	109	11·2
92	27, r, 2	182	144	79·1	87	60·4	111	78·4	97	11·5
52	24, r, 4	176	140	79·6	101	72·1	117	86·3	108	6·9
69	25, s, 8	179	143	79·9	95	66·4	118	80·5	103	8·4
96	27, s, 11	173	139	80·4	89	64·0	108	82·4	97	9·0
Summe		71	71	71	71	71	68	68	69	69

[1] Juvenil.

Die mit † versehenen Nummern gehören zu Typus II, die mit * versehenen Nummern sind Mischformen.

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längen-Breitenindex geordnet.

Nr.	Junkers Original-bezeichnung	Gr. L.	Gr. Br.	L.-Br.-Index	Kl. St.-Br.	Breitenindex	Gr. St.-Br.	Querer Stirnindex	Äußere Biorbital-Br.	Ausladungsprozent
El-Kubanieh Süd. ♀										
34	22, l, 2	177	122	68·9	83	68·0	115	72·2	97	16·9
38	22, n, 6	174	126	69·5	90	71·4	102	88·2	102	13·3
126	P, 179	178	128	72·0	82	62·5	108	74·1	95	15·9
11	19, k, 1	180	130	72·2	95	73·1	115	82·6	99	4·2
91	27, r, 1	187	135	72·2	94	69·6	110	85·5	101	7·5
8	19, j, 3	182	132	72·5	93	70·5	114	81·6	101	8·6
127[1]	P, 179, b	188	137	72·9	92	67·2	114	80·7	100	8·7
26	21, g, 12	185	135	73·0	—	—	—	—	104	—
61	25, o, 5	180	132	73·3	87	65·9	106	82·1	95	9·2
93	27, r, 3	173	127	73·4	92	72·4	104	88·5	98	6·5
66	25, r, 1	178	131	73·6	87	66·4	102	85·3	96	10·3
80	26, s, 2	175	129	73·7	93	72·1	112	83·0	103	10·8
50	24, h, 1	190	140	73·7	95	67·9	112	84·8	99	4·2
86	26, t, 7	168	124	73·8	85	68·6	100	85·0	92	8·2
56	24, s, 7	173	128	74·0	94	73·4	111	84·7	100	6·4
87	26, t, 11	181	134	74·0	83	61·9	104	79·8	91	9·6
76[1]	26, p, 5	171	127	74·3	92	72·4	104	88·5	92	0·0
74	26, p, 3	168	125	74·4	83	66·4	110	75·5	91	9·6
†123	P, 107	176	131	74·4	89	67·9	111	80·2	103	15·7
67	25, r, 6	178	133	74·7	91	68·4	109	83·5	99	8·8
27	21, i, 2	182	136	74·7	89	65·4	108	82·4	99	11·2
116	P, 117	179	134	74·9	92	68·7	108	85·2	101	9·8
71	25, u, 2	176	132	75·0	87	65·9	106	82·1	95	9.2
97	28, qu, 2	176	132	75·0	91	68·9	113	80·5	100	9·9
†118	P, 146	180	135	75·0	92	68·2	109	84·4	103	12·0
44	23, i, 2	175	132	75·4	97	73·5	112	86·6	—	—
† 20	20, l, 4	174	132	75·9	95	72·0	110	86·4	100	5·3
100	29, o, 1	175	133	76·0	94	70·7	112	83·9	98	4·3
58	25, n, 1	176	134	76·1	93	69·4	110	84·6	101	8·6
95	27, s, 5	172	131	76·2	92	70·2	106	86·8	101	9·8
16	20, j, 1	170	130	76·5	84	64·6	108	77·8	94	11·9
30[1]	21, i, 6	175	134	76·6	87	64·9	109	79·8	99	13·8
40	22, o, 1	175	134	76·6	92	68·7	115	80·0	101	9·8
114	P, 114, b	180	138	76·7	98	71·0	117	83·8	105	7·1
90	27, qu, 3	168	129	76·8	87	67·4	103	84·5	95	9·2
117	P, 118	177	136	76·8	95	69·9	115	82·6	102	7·4
131	P, 220	181	139	76·8	96	69·1	123	78·1	106	10·4
32	22, h, 2	178	137	77·0	92	67·2	112	82·1	101	9·8
*107	P, 94, a	179	138	77·1	89	60·9	106	79·3	99	11·2
39	22, n, 10	177	137	77·4	93	67·9	117	79·5	104	11·8
110	P, 101	178	138	77·5	90	65·2	112	80·4	96	6·7
†129	P, 186, a	178	139	78·1	95	68·4	114	83·3	102	7·4
41	22, o, 1	180	141	78·3	95	67·4	115	82·6	101	6·3
47	24, g, 1	168	132	78·6	90	68·2	108	83·3	97	7·8
4	16, h, 3	173	136	78·6	85	62·5	110	77·3	95	11·8
62	25, p, 1	173	136	78·6	100	73·5	120	83·3	—	—
121	P, 151	182	144	79·1	94	65·3	115	81·7	103	9·6
132	P, 220	180	144	80·0	88	61·1	115	76·5	98	11·4
99[1]	28, r, 4	170	139	81·8	87	62·6	102	85·3	91	4·6
63	25, p, 5	170	140	82·4	92	65·7	107	86·0	99	7·6
Summe		50	50	50	49	49	49	49	48	47
El-Kubanieh Nord. ♂										
189	20, e, 1	193	128	66·3	94	73·4	109	86·2	101	7·5
13	20, e, 2	184	125	67·9	95	76·0	109	87·2	101	6·3
186	20, c, 1	195	133	68·2	89	66·9	110	80·9	102	14·6
144	13, m, 6	182	126	69·2	94	74·6	105	89·5	102	8·5
141	12, k, 2, b	191	133	69·6	93	69·9	113	82·3	100	7·5
†146	13, n, 6	190	133	70·0	79	59·4	108	73·2	101	27·8
†142	12, o, 1	182	128	70·3	88	68·8	102	86·3	104	18·2
†174	17, j, 1	188	133	70·7	86	64·7	110	78·2	97	12·8
140	12, k, 2, a	173	124	71·7	84	67·7	102	82·4	96	14·3
†160	16, f, 1	189	136	72·0	94	69·1	108	87·0	99	5·3
154	15, e, 1	176	127	72·2	84	66·1	104	80·8	96	14·3
†184	19, g, 1	178	129	72·5	93	72·1	108	86·1	103	10·8
†172	17, c, 1	184	134	72·8	101	75·4	—	—	107	5·9
†139	12, k, 2	185	135	73·0	93	68·9	108	86·1	107	15·1
151	15, e, 1	186	137	73·7	95	69·3	110	86·4	105	10·5
190	20, f, 1	186	137	73·7	95	69·3	111	85·6	105	10·5
6	17, c, 2	190	140	73·7	90	64·3	114	79·0	103	14·4
165	16, k, 3 a	187	138	73·8	95	68·8	114	83·3	105	10·5
161	16, i, 3	177	131	74·0	86	65·7	110	78·2	96	11·6

[1] Juvenil.

Die mit † versehenen Nummern gehören zu Typus II, die mit * versehenen Nummern sind Mischformen.

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längen-Breitenindex geordnet.

Nr.	Junkers Original-bezeichnung	Gr. L.	Gr. Br.	L.-Br.-Index	Kl. St.-Br.	Breitenindex	Gr. St.-Br.	Querer Stirnindex	Äußere Biorbital-Br.	Ausladungsprozent
5	16, k, 7	179	133	74·3	89	66·9	106	84·0	98	10·1
145	13, m, 9	167	125	74·9	81	64·8	97	83·5	94	16·1
166	16, k, 4	187	140	74·9	93	66·4	112	83·0	103	10·8
†168	17, b, 1	183	137	74·9	83	60·6	111	74·8	103	24·1
182	19, e, 4	183	137	74·9	92	67·2	112	82·1	102	10·9
181	19, e, 2	188	141	75·0	94	66·7	114	82·5	103	9·6
150	15, e, 1	181	137	75·7	94	68·6	115	81·7	108	14·9
152	15, e, 1	174	132	75·9	88	66·7	107	82·2	100	13·6
169	17, b, 1	171	130	76·0	84	64·6	106	79·3	101	20·2
† 3	16, f, 2	175	133	76·0	86	64·7	108	79·6	96	11·6
14	20, f, 4	180	138	76·7	93	67·4	114	81·6	101	8·6
155	15, h, 1	181	139	76·8	91	65·5	117	77·8	103	13·2
177	18, e, 3	177	136	76·8	92	67·7	111	82·9	101	9·8
185	20, c, 1	187	144	77·0	95	66·0	117	81·2	—	—
183	19, f, 5	183	142	77·6	94	66·2	113	83·2	99	5·3
137	10, j, 5	179	139	77·7	92	66·2	110	83·6	99	7·6
148	14, m, 4	179	139	77·7	93	66·9	114	81·6	103	10·7
167	16, l, 1	171	135	79·0	82	60·7	100	82·0	98	19·5
Summe		37	37	37	37	37	36	36	36	36
El-Kubanieh Nord. ♀										
†180	19, d, 2	184	126	68·5	93	73·8	106	87·7	100	7·5
187	20, c, 2	176	121	68·8	87	71·9	103	84·5	93	6·9

Nr.	Junkers Original-bezeichnung	Gr. L.	Gr. Br.	L.-Br.-Index	Kl. St.-Br.	Breitenindex	Gr. St.-Br.	Querer Stirnindex	Äußere Biorbital-Br.	Ausladungsprozent
153	15, e, 1	180	126	70·0	92	73·0	106	86·8	99	7·6
178	18, f, 2	184	129	70·1	92	71·3	108	85·2	98	6·5
† 12	20, d, 2	176	124	70·5	93	75·0	109	86·2	98	5·4
†158	16, d, 2	186	134	72·0	97	72·4	115	84·4	105	8·3
138	11, j, 3	185	135	73·0	94	69·6	112	83·9	101	7·5
147	14, f, 1	188	140	74·5	92	65·7	109	84·4	99	7·6
149	14, n, 3	173	129	74·6	88	68·2	109	80·7	103	17·1
†175	18, c, 8	174	130	74·7	89	68·5	107	83·2	97	9·0
†188	20, d, 3	180	135	75·0	94	69·6	108	87·0	101	7·5
156	15, i, 1	173	130	75·1	88	67·7	110	80·0	98	11·4
170	17, b, 6	179	135	75·4	94	69·6	113	83·2	101	7·5
143	13, m, 3	165	126	76·4	84	66·7	98	85·7	94	11·9
164	16, k, 3	174	133	76·4	92	69·2	110	83·6	97	5·4
†163	16, k, 1	176	135	76·7	86	63·7	104	82·7	92	7·0
162	16, i, 6	160	125	78·1	79	63·2	102	77·5	91	15·2
159	16, d, 4	180	141	78·3	92	65·3	—	—	98	6·5
191	27, u, 2	162	127	78·4	79	62·2	102	77·5	86	8·9
157	15, l, 1	171	135	79·0	89	65·9	102	87·3	93	4·5
7	19, f, 6	171	135	79·0	87	64·4	—	—	94	8·1
176	18, d, 7	173	138	79·8	89	64·5	110	80·9	97	9·0
Summe		22	22	22	22	22	20	20	22	22

Die mit † versehenen Nummern gehören zu Typus II.

Tabelle II.

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Verhältnis der postauralen zur präauralen Länge geordnet.

Nr.	Gr. L.	Gerade L.	L.-Br. Index	Im Verhältnis zur Ohrscheitelebene: Präaur. L.	Postaur. L.	Po × 100 / Ger. L.	Basion liegt vor	Basion liegt hinter	Glabella-Inionlinie	Differenz gegen die Gr. L.
El-Kubanieh Süd. ♂										
43	187	187	72·7	85	102	54·6	—	—	166	— 21
108	186	186	73·7	85	101	54·3	—	1·0	177	— 9
85	179	179	73·7	82	97	54·2	4·0	—	171	— 8
42	185	184	73·0	85	99	53·8	1·0	—	178	— 7
68	182	181	74·7	85	96	53·0	0·5	—	170	— 12
115	187	187	74·9	88	99	52·9	—	2·0	172	— 15
25	175	174	73·7	82	92	52·9	—	1·5	161	— 14
17	176	176	77·3	83	93	52·8	—	0·5	174	— 2
113	179	179	74·3	85	94	52·5	—	6·0	163	— 16
28	179	179	78·2	85	94	52·5	—	2·0	166	— 13
78	185	185	74·1	88	97	52·4	—	3·0	175	— 10
29	190	189	71·6	90	99	52·4	—	2·5	174	— 16
101	191	191	70·2	91	100	52·4	—	3·5	181	— 10
83	186	186	77·4	89	97	52·2	1·5	—	176	— 10
70	171	171	72·5	82	89	52·1	—	1·0	159	— 12
37	181	181	75·1	87	94	51·9	—	2·0	171	— 10
104	188	187	72·9	90	97	51·9	—	2·5	175	— 13
18	182	182	77·5	88	94	51·7	0	0	166	— 16
124	184	184	71·7	89	95	51·6	0	0	177	— 7
82	170	169	75·9	82	87	51·5	—	0·5	161	— 9
72	181	181	72·9	88	93	51·4	—	3·0	176	— 5
130	184	183	73·4	89	94	51·4	—	6·0	173	— 11
84	184	184	72·3	90	94	51·1	—	2·5	166	— 18
15	175	175	70·3	86	89	50·9	—	—	165	— 10
77	173	173	74·0	85	88	50·9	—	2·5	162	— 11
96	173	173	80·4	85	88	50·9	—	2·0	166	— 7
23	183	183	76·5	90	93	50·8	2·0	—	174	— 9
134	187	187	73·3	92	95	50·8	—	4·0	180	— 7
98	187	187	75·4	92	95	50·8	—	1·5	177	— 10
111	188	187	76·1	92	95	50·8	—	4·0	177	— 11
106	200	199	68·0	98	101	50·8	—	2·5	183	— 17
49	181	180	75·1	89	91	50·6	—	1·5	165	— 16
92	182	182	79·1	90	92	50·6	2·0	—	174	— 8
136	188	188	73·4	93	95	50·5	—	2·5	182	— 6
128	185	185	74·6	92	93	50·3	—	1·5	175	— 10
31	180	179	75·0	89	90	50·3	—	2·0	171	— 9
64	178	177	77·5	88	89	50·3	—	3·0	169	— 9
79	193	192	72·0	96	96	50·0	1·5	—	186	— 7
10	187	186	73·3	93	93	50·0	1·5	—	181	— 6
65	174	174	74·7	87	87	50·0	—	1·5	167	— 7
51	179	178	77·1	89	89	50·0	5·0	—	167	— 12
105	189	189	70·9	95	94	49·7	—	—	178	— 11
89	185	185	73·0	93	92	49·7	0	0	179	— 6
55	178	177	74·2	89	88	49·7	—	1·0	163	— 15
102	179	179	77·1	90	89	49·7	2·0	—	165	— 14
112	188	188	73·4	95	93	49·5	—	6·0	179	— 9
122	185	184	74·1	93	91	49·5	—	1·5	180	— 5
21	185	184	78·9	93	91	49·5	0	0	171	— 14
119	187	187	72·7	95	92	49·2	—	1·5	176	— 11
33	183	183	73·2	93	90	49·2	—	7·5	174	— 9
48	184	183	76·1	93	90	49·2	—	—	170	— 14
73	175	175	77·1	89	86	49·1	—	2·5	165	— 9
120	184	183	75·0	94	89	48·6	—	2·0	173	— 11
57	163	163	78·5	84	79	48·5	1·5	—	156	— 7
53	183	182	73·8	94	88	48·4	—	1·5	180	— 3
1	182	182	76·9	94	88	48·4	0	0	174	— 8
103	185	185	76·2	96	89	48·1	—	2·0	177	— 8
117*a*	180	179	73·7	93	86	48·0	—	1·5	171	— 9
19	192	192	72·9	100	92	47·9	—	—	180	— 12
133	190	190	72·6	99	91	47·9	—	6·0	186	— 4
94	186	186	71·5	97	89	47·9	4·0	—	176	— 10
2	175	174	70·9	91	83	47·7	8·0	—	166	— 9
52	176	176	79·6	93	83	47·2	—	1·0	170	— 6
69	179	179	79·9	95	84	46·9	—	3·0	174	— 5
125	186	186	72·0	99	87	46·8	—	—	180	— 6
60	192	192	70·3	103	89	46·4	2·1	—	183	— 9
135	187	186	71·2	101	85	45·7	2·0	—	178	— 9
Summe	67	67	67	67	67	67	15	41	67	
El-Kubanieh Süd. ♀										
63	170	169	82·4	78	91	53·9	0·5	—	158	— 12
27	182	182	74·7	85	97	53·3	—	1·0	175	— 7
121	182	181	79·1	85	96	53·0	—	—	168	— 14
118	180	180	75·0	85	95	52·8	1·5	—	167	— 13

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Verhältnis der postauralen zur präauralen Länge geordnet.

Nr.	Gr. L.	Gerade L.	L.-Br. Index	Im Verhältnis zur Ohrscheitelebene					Glabella-Inionlinie	Differenz gegen die Gr. L.
				Präaur. L.	Postaur. L.	Po × 100 / Ger. L.	Basion liegt vor	Basion liegt hinter		
86	168	167	73·8	79	88	52·7	1·5	—	159	— 9
50	190	190	73·7	90	100	52·6	0	0	171	— 19
56	173	173	74·0	82	91	52·6	—	—	168	— 7
20	174	173	75·9	82	91	52·6	0	0	163	— 11
110	178	177	77·5	84	93	52·5	—	1·0	158	— 20
107	179	179	77·1	85	94	52·5	—	3·0	166	— 13
80	175	174	73·7	83	91	52·3	0	0	167	— 8
30	175	174	76·6	83	91	52·3	—	2·0	167	— 8
127	188	188	72·9	90	98	52·1	—	—	178	— 10
47	168	167	78·6	80	87	52·1	—	2·5	159	— 9
93	173	173	73·4	83	90	52·0	—	4·0	165	— 8
4	173	173	78·6	83	90	52·0	—	1·0	167	— 6
71	176	175	75·0	84	91	52·0	—	—	163	— 13
61	180	179	73·3	86	93	52·0	—	4·0	169	— 11
39	177	177	77·4	85	92	52·0	0	0	165	— 12
91	187	187	72·2	90	97	51·9	—	2·5	172	— 15
97	176	176	75·0	85	91	51·7	—	—	165	— 11
26	185	184	73·0	89	95	51·6	—	—	174	— 11
90	168	168	76·8	82	86	51·2	—	3·5	162	— 6
62	173	172	78·6	84	88	51·2	—	3·0	161	— 12
126	178	178	72·0	87	91	51·1	—	1·0	173	— 5
11	180	180	72·2	88	92	51·1	—	3·0	167	— 13
8	182	180	72·5	88	92	51·1	1·0	—	178	— 4
58	176	175	76·1	86	89	50·9	—	6·0	170	— 6
131	181	181	76·8	89	92	50·8	—	3·0	175	— 6
123	176	176	74·4	87	89	50·6	—	—	170?	— 6?
66	178	178	73·6	88	90	50·6	—	1·0	162	— 16
132	180	180	80·0	89	91	50·6	1·0	—	169	— 11
74	168	167	74·4	83	84	50·3	—	1·5	158	— 10
87	181	181	74·0	90	91	50·3	0	0	162	— 19
67	178	177	74·7	88	89	50·3	—	2·0	165	— 13
116	179	179	74·9	89	90	50·3	—	1·0	170	— 9
41	180	179	78·3	89	90	50·3	1·0	—	164	— 16
95	172	172	76·2	86	86	50·0	—	1·5	164	— 8
38	174	173	69·5	87	86	49·7	—	1·5	166	— 8
40	175	175	76·6	88	87	49·7	—	3·5	164	— 11
129	178	178	78·1	90	88	49·4	—	2·0	169	— 9
114	180	180	76·7	92	88	48·9	—	4·5	169	— 11
117	177	176	76·8	90	86	48·9	—	4·0	174	— 3
44	175	174	75·4	89	85	48·9	—	—	165	— 10
76	171	171	74·3	89	82	48·0	—	1·0	161	— 10
32	178	178	77·0	93	85	47·8	0·5	—	172	— 6
99	170	170	81·8	89	81	47·7	—	1·5	155	— 15
Summe	47	47	47	47	47	47	7	27	47	

El-Kubanieh Nord.

♂

Nr.	Gr. L.	Gerade L.	L.-Br. Index	Präaur. L.	Postaur. L.	Po × 100 / Ger. L.	Basion liegt vor	Basion liegt hinter	Glabella-Inionlinie	Differenz gegen die Gr. L.
183	183	183	77·6	85	98	53·6	0	0	171	— 12
172	184	183	72·8	85	98	53·6	—	4·5	169	— 15
150	181	181	75·7	84	97	53·6	—	1	170	— 11
185	187	186	77·0	89	97	52·2	0	0	170	— 17
160	189	189	72·0	91	98	51·9	0	0	179	— 10
141	191	191	69·6	92	99	51·8	—	2	180	— 11
167	171	171	79·0	83	88	51·5	—	—	164	— 7
139	185	185	73·0	90	95	51·4	—	0·5	176	— 9
174	188	187	70·7	91	96	51·3	—	2	177	— 11
152	174	174	75·9	85	89	51·2	—	1·5	163	— 11
6	190	190	73·7	93	97	51·1	—	—	175	— 15
13	184	184	67·9	90	94	51·1	—	4·0	175	— 9
184	178	178	72·5	87	91	51·1	—	5·5	171	— 7
182	183	182	74·9	89	93	51·1	0·5	—	175	— 8
146	190	190	70·0	93	97	51·1	—	1·5	188	— 2
190	186	185	73·7	91	94	50·8	0	0	169	— 17
148	179	178	77·7	88	90	50·6	—	5	174	— 5
145	167	166	74·9	82	84	50·6	—	3·5	162	— 5
181	188	188	75·0	93	95	50·5	1	—	183	— 5
5	179	179	74·3	89	90	50·3	0	0	173	— 6
168	183	183	74·9	91	92	50·3	0	0	177	— 6
166	187	187	74·9	93	94	50·3	0	0	174	— 13
140	173	173	71·7	87	87	50·0	—	—	165	— 8
155	181	181	76·8	91	90	49·7	—	3	175	— 6
154	176	175	72·2	88	87	49·7	2	—	166	— 10
151	186	185	73·7	93	92	49·7	—	2·5	177	— 9
177	177	176	76·8	89	87	49·4	0	0	167	— 10
165	187	187	73·8	95	92	49·2	3·5	—	179	— 8
160	171	171	76·0	87	84	49·1	—	1·5	164	— 7
189	193	193	66·3	99	94	48·7	0·5	—	186	— 7
142	182	181	70·3	93	88	48·6	0	0	172	— 10

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Verhältnis der postauralen zur präauralen Länge geordnet.

Nr.	Gr. L.	Gerade L.	L.-Br. Index	Im Verhältnis zur Ohrscheitelebene: Präaur. L.	Postaur. L.	Po × 100 / Ger. L.	Basion liegt vor	Basion liegt hinter	Glabella-Inionlinie	Differenz gegen die Gr. L.
186	195	194	68·2	100	94	48·5	—	—	191	— 4
161	177	176	74·0	91	85	48·3	0	0	170	— 7
14	180	180	76·7	94	86	47·8	—	2·5	175	— 5
137	179	179	77·7	94	86	47·8	0	0	170	— 9
144	182	182	69·2	96	86	47·3	1	—	172	— 10
3	175	174	76·0	93	81	46·6	—	5	169	— 6
Summe	37	37	37	37	37	37	6	16	37	
El-Kubanieh Nord. ♀										
147	188	187	74·5	84	103	55·1	0	0	174	— 14
163	176	176	76·7	80	96	54·6	1·5	—	159	— 17
188	180	179	75·0	83	96	53·6	—	1	170	— 10
156	173	173	75·1	81	92	53·2	—	2	162	— 11
159	180	180	78·3	85	95	52·8	—	2	165	— 15

Nr.	Gr. L.	Gerade L.	L.-Br. Index	Im Verhältnis zur Ohrscheitelebene: Präaur. L.	Postaur. L.	Po × 100 / Ger. L.	Basion liegt vor	Basion liegt hinter	Glabella-Inionlinie	Differenz gegen die Gr. L.
158	186	186	72·0	88	98	52·7	0	0	180	— 6
162	160	160	78·1	76	84	52·5	1	—	154	— 6
157	171	171	79·0	82	89	52·1	—	1	156	— 15
12	176	176	70·5	85	91	51·7	0	0	163	— 13
176	173	173	73·8	84	89	51·4	3·5	—	161	— 12
191	162	162	78·4	79	83	51·2	0·5	—	151	— 11
143	165	165	76·4	81	84	50·9	—	—	156	— 9
149	173	173	74·6	86	87	50·3	0·5	—	160	— 13
175	174	174	74·7	87	87	50·0	—	—	164	— 10
153	180	180	70·0	90	90	50·0	—	1·5	167	— 13
138	185	184	73·0	93	91	49·5	—	1.5	183	— 2
187	176	176	68·8	90	86	48·9	—	2	170	— 6
164	174	174	76·4	89	85	48·9	—	2·5	167	— 7
170	179	179	75·4	92	87	48·6	0	0	168	— 11
180	184	184	68·5	98	86	46·7	—	—	178	— 6
Summe	20	20	20	20	20	20	5	9	20	

Tabelle III.

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Länge geordnet.

El-Kubanieh Süd.

♂

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
57	163	120 *105*	118 *103*	103 *91*	58 *55*	45 *45*	341 *119*	34·9	272	454
82	170	128 *112*	101 *95*	113 *96*	67 *63*	46 *45*	342 *126*	36·8	280	478
70	171	125 *109*	129 *114*	100 *89*	58 *55*	42 *41*	354 *125*	35·3	282	480
9	171	119 *106*	— —	— —	— —	48 *47*	345 *129*	37·4	274	469
77	173	111 *99*	120 *108*	116 *93*	76 *68*	40 *39*	347 *126*	36·3	272	476
96	173	119 *106*	133 *118*	107 *92*	57 *54*	50 *49*	359 *127*	35·4	298	487
65	174	125 *109*	117 *103*	110 *93*	69 *65*	41 *39*	352 *134*	38·0	285	480
15	175	121 *107*	133 *117*	107 *92*	59 *56*	48 *47*	361 *127*	35·2	272	476
2	175	118 *107*	117 *106*	109 *96*	69 *65*	40 *39*	344 *136*	39·5	278	470
25	175	120 *107*	118 *105*	— —	74 *68*	— —	— —	—	274	483
73	175	131 *114*	126 *111*	105 *91*	66 *63*	39 *38*	362 *130*	35·9	304	496
17	176	124 *109*	132 *116*	107 *89*	48 *47*	59 *56*	363 *130*	35·8	294	504
52	176	130 *114*	125 *112*	117 *101*	63 *61*	54 *52*	372 *130*	34·9	302	503
55	178	127 *109*	117 *105*	121 *103*	81 *74*	40 *39*	365 *130*	35·6	291	492
64	178	130 *114*	127 *114*	115 *100*	59 *56*	56 *54*	372 *129*	34·7	294	495
85	179	131 *114*	130 *115*	117 *100*	60 *56*	57 *55*	378 *126*	33·3	294	495
113	179	126 *107*	129 *116*	110 *91*	71 *65*	39 *38*	365 *127*	34·8	292	495
51	179	136 *116*	133 *115*	112 *95*	65 *62*	47 *47*	381 *124*	32·5	288	499
102	179	134 *116*	126 *112*	118 *99*	69 *63*	49 *47*	378 *124*	32·8	304	506
28	179	130 *114*	130 *116*	112 *91*	67 *61*	45 *44*	372 *125*	33·6	300	506
69	179	132 *112*	133 *117*	111 *96*	59 *57*	52 *51*	376 *134*	35·6	307	503
117*a*	180	118 *105*	116 *106*	115 *95*	70 *67*	45 *44*	351 *135*	38·5	290	493
31	180	129 *112*	125 *111*	113 *98*	65 *62*	48 *47*	367 *137*	37·3	314	515
59	181	143 *120*	127 *112*	120 *99*	65 *63*	55 *53*	390 *128*	32·8	313	507
72	181	121 *105*	131 *116*	117 *95*	62 *59*	55 *54*	369 *128*	34·7	281	492
37	181	131 *115*	117 *107*	114 *94*	69 *65*	45 *43*	362 *135*	37·3	287	512
49	181	133 *115*	137 *119*	114 *101*	70 *67*	44 *42*	384 *130*	33·9	303	510
68	182	131 *113*	129 *115*	114 *96*	61 *57*	53 *52*	374 *126*	33·7	301	507
1	182	— —	— —	— —	— —	42 *42*	370 *134*	36·2	307	508
18	182	127 *113*	130 *117*	126 *107*	81 *74*	45 *44*	383 *130*	33·9	305	508
92	182	133 *117*	133 *118*	112 *96*	58 *54*	54 *54*	378 *129*	34·1	298	507

Die Kursivziffern bedeuten das Maß der Sehne.

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Länge geordnet.

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
33	183	131 *113*	122 *110*	115 *97*	73 *66*	42 *42*	368 *143*	38·9	310	512
53	183	127 *113*	128 *116*	113 *93*	58 *55*	55 *52*	368 *139*	37·8	293	500
23	183	125 *111*	137 *118*	120 *101*	66 *62*	54 *52*	382 *132*	34·6	298	506
124	184	125 *113*	119 *107*	123 *98*	72 *66*	51 *50*	367 *130*	34·6	298	510
84	184	126 *112*	125 *114*	118 *101*	78 *70*	40 *39*	369 *135*	36·6	290	500
130	184	121 *107*	130 *113*	112 *97*	66 *62*	46 *45*	363 *139*	38·3	285	507
120	184	126 *109*	113 *103*	121 *100*	72 *68*	49 *47*	360 *140*	38·1	297	508
48	184	127 *111*	132 *118*	119 *104*	71 *67*	48 *45*	378 *139*	36·8	305	514
42	185	120 *105*	130 *118*	118 *97*	65 *62*	53 *52*	368 *130*	35·3	279	515
89	185	125 *111*	132 *118*	114 *95*	65 *61*	49 *48*	371 *140*	37·7	293	512
78	185	135 *117*	130 *116*	119 *100*	66 *62*	53 *51*	384 *132*	34·4	302	511
122	185	126 *111*	121 *110*	113 *94*	61 *58*	52 *51*	360 *141*	39·2	302	517
22	185	122 *109*	— —	— —	— —	45 *44*	366 *137*	37·5	283	503
128	185	128 *113*	133 *117*	114 *97*	70 *67*	44 *42*	375 *139*	37·1	300	522
103	185	130 *114*	130 *115*	117 *102*	68 *66*	49 *49*	377 *140*	37·1	318	522
21	185	127 *114*	134 *119*	116 *101*	75 *72*	41 *40*	377 *141*	37·4	319	524
94	186	137 *120*	127 *115*	115 *98*	62 *58*	53 *53*	379 *130*	34·3	301	510

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
125	186	125 *110*	125 *112*	115 *96*	63 *61*	52 *51*	365 *138*	37·8	290	504
108	186	135 *116*	125 *113*	132 *103*	75 *71*	57 *57*	392 *127*	32·4	295	515
83	186	135 *116*	136 *119*	112 *98*	59 *57*	53 *52*	383 *131*	33·3	305	521
24	186	119 *106*	145 *123*	114 *99*	66 *63*	48 *46*	378 *144*	38·1	—	—
135	187	131 *117*	126 *111*	113 *98*	72 *69*	41 *39*	370 *142*	38·0	303	523
43	187	124 *111*	128 *117*	127 *109*	88 *81*	39 *38*	379 *133*	35·1	299	514
119	187	137 *117*	123 *112*	116 *96*	72 *67*	44 *41*	376 *138*	36·7	298	518
134	187	127 *109*	135 *120*	117 *97*	60 *58*	57 *54*	379 *134*	35·4	294	513
10	187	125 *112*	133 *117*	116 *106*	59 *57*	57 *55*	374 *133*	35·6	298	511
115	187	127 *112*	130 *115*	118 *101*	74 *69*	44 *44*	375 *135*	36·0	304	518
98	187	138 *118*	130 *117*	120 *97*	72 *68*	48 *48*	388 *130*	33·5	294	519
104	188	129 *113*	145 *126*	110 *93*	65 *60*	45 *44*	384 *139*	36·2	315	519
136	188	125 *111*	128 *113*	130 *108*	72 *69*	58 *56*	383 *133*	34·7	290	510
112	188	137 *120*	126 *109*	113 *98*	63 *60*	50 *49*	376 *140*	37·2	300	510
111	188	133 *114*	119 *108*	117 *96*	74 *68*	43 *42*	369 *140*	37·9	302	527
105	189	135 *118*	137 *118*	116 *98*	64 *61*	52 *51*	388 *139*	35·8	302	510
29	190	128 *114*	129 *117*	125 *100*	78 *70*	47 *47*	382 *130*	34·0	301	528

Die Kursivziffern bedeuten das Maß der Sehne.

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Länge geordnet.

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens zur Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
133	190	129 *112*	121 *112*	124 *98*	68 *64*	56 *51*	374 *144*	38·5	310	523
101	191	134 *117*	137 *119*	111 *96*	58 *55*	53 *53*	382 *136*	35·6	290	515
60	192	133 *118*	130 *118*	118 *98*	69 *65*	49 *45*	381 *146*	38·3	305	519
19	192	129 *112*	137 *120*	111 *96*	64 *60*	47 *46*	377 *144*	38·2	308	527
79	193	132 *116*	136 *122*	123 *100*	63 *60*	60 *58*	391 *134*	34·3	299	520
106	200	137 *121*	132 *120*	130 *109*	83 *75*	47 *47*	399 *145*	36·3	310	544
Summe	71	70	68	67	68	70	70	70	70	70

El-Kubanieh Süd.

♀

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opistionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
86	168	117 *103*	112 *103*	113 *92*	71 *65*	42 *42*	342 *123*	36·0	260	495
74	168	127 *108*	120 *104*	106 *90*	62 *58*	44 *43*	353 *122*	34·6	277	476
90	168	113 *101*	130 *114*	113 *94*	65 *61*	48 *48*	356 *124*	34·8	281	475
47	168	123 *106*	128 *115*	102 *87*	60 *57*	42 *41*	353 *121*	34·2	283	476
99	170	132 *110*	136 *118*	102 *88*	65 *61*	37 *37*	370 *117*	31·6	296	481
63	170	122 *106*	117 *105*	115 *95*	74 *67*	41 *41*	354 *122*	34·5	286	485
16	170	128 *112*	122 *110*	118 *91*	68 *62*	40 *39*	358 *122*	34·1	278	478
76	171	126 *108*	129 *114*	98 *85*	60 *56*	38 *38*	353 *128*	36·3	286	472
95	172	119 *105*	115 *106*	115 *98*	70 *65*	45 *44*	349 *130*	37·2	283	479
93	173	120 *104*	122 *108*	109 *94*	62 *59*	47 *47*	351 *132*	37·6	280	483
56	173	123 *109*	132 *118*	109 *95*	58 *56*	51 *49*	364 *129*	35·5	294	489
4	173	124 *108*	130 *116*	115 *105*	65 *62*	50 *47*	369 *128*	34·7	295	493
62	173	126 *106*	132 *118*	110 *94*	68 *64*	42 *41*	368 *126*	34·2	320	501
38	174	126 *108*	122 *109*	106 *91*	60 *56*	46 *45*	354 *132*	37·3	281	483
20	174	126 *110*	126 *113*	115 *90*	70 *65*	45 *41*	367 *123*	33·5	290	496
80	175	126 *108*	136 *118*	105 *90*	56 *54*	49 *48*	367 *126*	34·6	286	489
100	175	130 *111*	126 *109*	— —	80 *73*	— —	— —	—	288	495
44	175	135 *114*	127 *113*	106 *93*	62 *59*	44 *44*	368 *129*	35·0	298	499
30	175	120 *105*	126 *116*	109 *90*	59 *56*	50 *49*	355 *126*	35·5	285	495
40	175	129 *112*	117 *105*	112 *95*	70 *65*	42 *42*	358 *129*	36·0	297	491
123	176	125 *107*	132 *115*	105 *92*	53 *50*	52 *51*	362 *129*	35·6	282	490
71	176	125 *108*	118 *106*	108 *88*	67 *61*	41 *40*	351 *126*	35·9	272	492
97	176	129 *110*	131 *114*	107 *95*	64 *61*	43 *42*	367 *134*	36·5	291	498
58	176	132 *113*	117 *105*	105 *91*	61 *57*	44 *44*	354 *137*	38·7	281	498
34	177	119 *108*	124 *110*	118 *95*	82 *74*	36 *35*	361 *130*	36·0	289	482
117	177	121 *105*	115 *105*	122 *99*	67 *65*	55 *54*	358 *129*	36·0	293	495

Die Kursivziffern bedeuten das Maß der Sehne.

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Länge geordnet.

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
39	177	128 *111*	122 *111*	115 *96*	69 *62*	46 *45*	365 *128*	35·0	293	501
126	178	118 *104*	133 *117*	107 *93*	54 *52*	53 *52*	358 *134*	37·4	272	492
66	178	125 *109*	123 *112*	— —	73 *67*	— —	— —	—	281	495
67	178	123 *107*	117 *108*	— —	79 *72*	— —	— —	—	278	495
110	178	129 *111*	122 *109*	116 *99*	80 *72*	36 *35*	367 *128*	34·9	300	499
129	178	124 *111*	136 *119*	113 *98*	67 *64*	46 *45*	373 *133*	35·7	300	505
32	178	128 *111*	— —	— —	— —	48 *47*	363 *131*	36·1	297	500
116	179	131 *112*	130 *114*	113 *98*	65 *62*	48 *47*	374 *131*	35·0	307	496
107	179	127 *113*	122 *108*	120 *100*	72 *66*	48 *45*	369 *131*	35·5	282	494
11	180	130 *109*	125 *112*	114 *96*	72 *66*	42 *41*	369 *132*	35·8	298	502
61	180	123 *107*	129 *116*	109 *92*	64 *59*	45 *44*	361 *129*	35·7	284	496
118	180	128 *110*	145 *128*	108 *93*	61 *57*	47 *47*	381 *126*	33·1	298	500
114	180	121 *107*	136 *117*	112 *93*	73 *69*	39 *37*	369 *138*	37·4	302	509
41	180	127 *113*	138 *120*	117 *96*	75 *71*	42 *40*	382 *125*	32·7	303	506
132	180	127 *110*	129 *114*	116 *99*	70 *66*	46 *44*	372 *133*	35·8	305	510
87	181	123 *105*	133 *119*	112 *95*	73 *65*	39 *38*	368 *127*	34·5	280	500
131	181	136 *119*	139 *122*	110 *92*	60 *57*	50 *48*	385 *133*	34·5	310	511

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
8	182	130 *112*	131 *118*	110 *93*	60 *58*	50 *50*	371 *137*	36·9	290	506
27	182	120 *106*	129 *114*	111 *92*	57 *52*	54 *53*	360 *131*	36·4	288	505
121	182	130 *112*	135 *118*	— —	65 *60*	— —	— —	—	302	510
26	185	134 *115*	132 *119*	— —	64 *61*	— —	— —	—	310	519
91	187	— —	— —	— —	— —	45 *44*	378 *132*	34·9	—	516
127	188	126 *111*	129 *114*	123 *97*	71 *65*	52 *50*	378 *137*	36·2	290	517
50	190	137 *114*	— —	— —	— —	— —	393 *128*	32·6	297	522
Summe	50	49	47	42	47	44	45	45	49	50
El-Kubanieh Nord. ♂										
145	167	109 *98*	120 *107*	113 *95*	69 *65*	44 *44*	342 *128*	37·4	265	464
167	171	116 *105*	125 *111*	— —	62 *59*	— —	— —	—	—	—
169	171	117 *104*	124 *109*	— —	63 *59*	— —	— —	—	284	477
140	173	120 *105*	— —	— —	— —	51 *50*	353 *124*	35·1	272	475
152	174	120 *107*	129 *113*	110 *94*	67 *63*	43 *42*	359 *123*	34·3	—	—
3	175	124 *112*	123 *110*	110 *96*	69 *67*	41 *40*	357 *137*	38·4	299	491
154	176	117 *104*	130 *115*	118 *99*	67 *63*	51 *49*	365 *125*	34·2	281	485
161	177	125 *110*	129 *114*	111 *95*	62 *59*	49 *48*	365 *132*	36·2	297	492

Die Kursivziffern bedeuten das Maß der Sehne.

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Länge geordnet.

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Vers. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
177	177	128 *114*	122 *109*	109 *96*	69 *64*	40 *39*	359 *136*	37·9	293	496
184	178	119 *103*	127 *112*	116 *97*	69 *65*	47 *47*	362 *134*	37·0	283	494
137	179	134 *115*	140 *119*	109 *92*	63 *61*	46 *42*	383 *131*	34·2	300	499
148	179	117 *102*	126 *111*	117 *98*	71 *63*	46 *43*	360 *139*	38·6	300	502
5	179	126 *112*	133 *119*	117 *100*	64 *61*	53 *52*	376 *130*	34·6	301	498
14	180	128 *111*	126 *111*	112 *97*	65 *63*	47 *46*	366 *142*	38·8	302	508
150	181	126 *112*	131 *117*	116 *98*	69 *65*	47 *45*	373 *131*	35·1	289	506
155	181	128 *112*	143 *125*	108 *93*	55 *54*	53 *51*	379 *133*	35·1	309	513
142	182	119 *108*	131 *116*	120 *103*	72 *70*	48 *44*	370 *137*	37·0	286	501
144	182	124 *109*	115 *103*	115 *96*	68 *63*	47 *46*	354 *135*	38·1	284	498
168	183	132 *115*	122 *110*	120 *97*	63 *60*	57 *54*	374 *128*	34·2	298	504
182	183	126 *109*	125 *114*	115 *95*	65 *60*	50 *49*	366 *134*	36·6	293	505
183	183	129 *111*	139 *121*	111 *95*	63 *59*	48 *47*	379 *132*	34·8	297	513
172	184	116 *105*	134 *117*	119 *103*	75 *69*	44 *42*	369 *138*	37·4	290	505
13	184	118 *106*	146 *128*	105 *93*	61 *58*	44 *43*	369 *142*	38·5	287	503
139	185	129 *115*	116 *105*	128 *107*	76 *70*	52 *51*	373 *137*	36·7	292	505
151	186	124 *111*	139 *123*	109 *91*	63 *60*	46 *44*	372 *140*	37·6	290	511

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
190	186	132 *116*	134 *120*	116 *103*	72 *68*	44 *42*	382 *136*	35·6	304	516
165	187	141 *119*	132 *120*	115 *92*	59 *57*	56 *54*	388 *129*	33·2	304	520
166	187	134 *116*	— —	— —	— —	47 *47*	382 *136*	35·6	303	517
185	187	130 *114*	140 *123*	117 *99*	73 *66*	44 *44*	387 *133*	34·6	299	522
174	188	131 *115*	137 *124*	120 *97*	69 *65*	51 *50*	388 *129*	33·2	309	508
181	188	129 *111*	143 *125*	121 *98*	66 *63*	55 *54*	393 *133*	33·8	301	527
160	189	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—	318	524
146	190	127 *112*	134 *118*	120 *101*	53 *51*	67 *65*	381 *140*	36·7	292	514
6	190	131 *117*	135 *120*	121 *104*	70 *64*	51 *49*	387 *139*	35·9	312	521
141	191	132 *115*	— —	— —	— —	49 *47*	392 *135*	34·4	298	527
189	193	141 *117*	138 *125*	114 *96*	59 *56*	55 *54*	393 *141*	35·9	302	527
186	195	136 *119*	132 *122*	— —	67 *65*	— —	— —	—	304	529
Summe	37	36	33	30	33	33	33	33	35	35

El-Kubanieh Nord.

♀

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
162	160	116 *102*	101 *94*	115 *97*	65 *60*	50 *50*	332 *120*	36·1	264	452
191	162	123 *102*	119 *106*	107 *94*	64 *60*	43 *43*	349 *119*	31·2	273	459
143	165	108 *98*	112 *102*	106 *99*	66 *61*	40 *39*	325 *126*	38·7	262	451

Die Kursivziffern bedeuten das Maß der Sehne.

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Länge geordnet.

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen des Schädeldaches	Horizontalumfang
157	171	124 *107*	117 *105*	118 *98*	76 *69*	42 *41*	359 *120*	33·4	288	479
7	171	116 *101*	132 *118*	114 *99*	70 *66*	44 *43*	362 *127*	35·1	284	—
149	173	125 *106*	119 *108*	110 *94*	66 *61*	44 *44*	354 *125*	35·3	287	490
156	173	130 *113*	119 *103*	109 *91*	64 *60*	45 *44*	358 *125*	34·9	281	484
176	173	132 *112*	108 *100*	125 *107*	79 *74*	46 *45*	365 *125*	34·2	294	488
164	174	132 *111*	109 *100*	113 *98*	63 *59*	50 *50*	354 *129*	36·4	279	491
175	174	122 *107*	117 *106*	119 *101*	72 *68*	47 *46*	358 *130*	36·3	283	482
163	176	117 *104*	133 *118*	124 *104*	79 *72*	45 *45*	374 *121*	32·4	287	493
187	176	123 *107*	117 *105*	110 *96*	62 *59*	48 *47*	350 *137*	39·1	277	482
12	176	129 *111*	128 *112*	117 *99*	73 *66*	44 *43*	374 *128*	34·2	282	490

Nr.	Gr. L.	Stirnbogen, Sehne	Scheitelbogen, Sehne	Hinterhauptbogen, Sehne	Lambda-Inionbogen, Sehne	Inion-Opisthionbogen, Sehne	Ganzer Sagittalbogen, Sehne	Verh. d. ganzen Sagittalbogens z. Sehne	Querbogen d. Schädeldaches	Horizontalumfang
170	179	128 *113*	125 *111*	109 *94*	63 *58*	46 *45*	362 *133*	36·7	292	501
153	180	125 *110*	136 *119*	— —	65 *61*	— —	— —	—	291	495
159	180	134 *114*	123 *112*	124 *102*	79 *73*	45 *44*	381 *126*	33·1	—	—
188	180	133 *111*	132 *116*	120 *100*	72 *67*	48 *48*	385 *127*	33·1	297	510
178	184	116 *102*	126 *115*	125 *102*	76 *70*	49 *49*	367 *132*	36·0	281	501
180	184	135 *117*	127 *116*	— —	58 *58*	— —	— —	—	294	504
138	185	127 *111*	118 *108*	118 *96*	66 *63*	52 *51*	363 *142*	39·1	299	511
158	186	128 *109*	132 *117*	126 *105*	65 *61*	61 *60*	386 *133*	34·4	286	519
147	188	126 *109*	133 *121*	132 *99*	79 *72*	53 *51*	391 *123*	31·7	290	521
Summe	22	22	22	20	22	20	20	20	21	20

Die Kursivziffern bedeuten das Maß der Sehne.

Tabelle IV a.

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Breite geordnet.

Nr.	Gr. Br.	Ohr-H.	Verhältnis zur		Basion Bregma H.	Verhältnis zur		Gesamt-H.	Verhältnis zur	
			Gr. L.	Gr. Br.		Gr. L.	Gr. Br.		Gr. L.	Gr. Br.
El-Kubanieh Süd. ♂										
15	123	110	62·9	89·4	—	—	—	135	77·1	109·8
2	124	116	66·3	93·6	131	74·9	105·7	135	77·1	108·9
70	124	111	64·9	89·5	129	75·4	104·0	135	79·0	108·9
9	127	—	—	—	124	72·5	97·6	129	75·4	101·6
77	128	106	61·3	82·8	118	68·2	92·2	124	71·7	96·9
57	128	109	66·9	85·2	127	77·9	99·2	134	82·2	104·7
25	129	108	61·7	83·7	125	71·4	96·9	131	74·9	101·6
82	129	111	65·3	86·1	127	74·7	98·5	129	75·9	100·0
65	130	112	64·4	86·2	132	75·9	101·5	135	77·6	103·9
22	130	—	—	—	132	71·4	101·5	137	74·1	105·4
55	132	115	64·6	87·1	129	72·5	97·7	136	76·4	103·0
85	132	116	64·8	87·9	138	77·1	104·6	141	78·8	106·8
117a	132	108	60·0	81·8	123	68·3	93·2	131	72·8	99·2
72	132	113	62·4	85·6	128	70·7	97·0	135	74·6	102·3
124	132	114	62·0	86·4	132	71·7	100·0	135	73·4	102·3
24	133	—	—	—	—	—	—	—	—	—
84	133	115	62·5	86·5	133	72·3	100·0	137	74·5	103·0
113	133	112	62·6	84·2	125	69·8	94·0	132	73·7	99·3
94	133	116	62·4	87·2	134	72·0	100·8	138	74·2	103·8
33	134	119	65·0	88·8	141	77·1	105·2	144	78·7	107·5
101	134	112	58·6	83·6	136	71·2	101·5	143	74·9	106·7
125	134	109	58·6	81·3	—	—	—	135	72·6	100·8
135	134	119	63·6	88·8	136	72·7	101·5	142	75·9	106·0
105	134	119	63·0	88·8	144	76·2	107·5	148	78·3	110·5
73	135	118	67·4	87·4	137	78·3	101·5	139	79·4	103·0
89	135	117	63·2	86·7	137	74·1	101·5	141	76·2	104·4
130	135	109	59·2	80·7	127	69·0	94·1	137	74·5	101·5
31	135	116	64·4	85·9	135	75·0	100·0	141	78·3	104·4
53	135	115	62·8	85·2	135	73·8	100·0	140	76·5	103·7
42	135	107	57·8	79·3	126	68·1	93·3	130	70·3	96·3
60	135	122	63·5	90·4	139	72·4	103·0	146	76·0	108·2
49	136	120	66·3	88·2	144	79·6	105·9	146	80·7	107·4
29	136	118	62·1	86·8	128	67·4	94·1	137	72·1	100·7
37	136	111	61·3	81·6	130	71·8	95·6	132	72·9	97·1
68	136	115	63·2	84·6	132	72·5	97·1	138	75·8	101·5
43	136	119	63·6	87·5	—		—	140	74·9	102·9
119	136	115	61·5	84·6	133	71·1	97·8	139	74·3	102·2
106	136	123	61·5	90·4	141	70·5	103·7	147	73·5	108·1
17	136	114	64·8	83·8	127	72·2	93·4	133	75·6	97·8
122	137	112	60·5	81·8	130	70·3	94·9	134	72·4	97·8
78	137	117	63·2	85·4	138	74·6	100·7	142	76·8	103·7
108	137	113	60·8	82·5	135	72·6	98·5	140	75·3	102·2
134	137	114	61·0	83·2	134	71·7	97·8	134	71·7	97·8
10	137	113	60·4	82·5	129	69·0	94·2	135	72·2	98·5
104	137	121	64·4	88·3	139	73·9	101·5	145	77·1	105·8
51	138	115	64·3	83·3	127	71·0	92·0	135	75·4	97·8
102	138	120	67·0	87·0	135	75·4	97·8	138	77·1	100·0
128	138	115	62·2	83·3	135	73·0	97·8	142	76·8	102·9
112	138	114	60·6	82·6	137	72·9	99·3	141	75·0	102·2
120	138	111	60·3	80·4	131	71·2	94·9	136	73·9	98·6
136	138	113	60·1	81·9	132	70·2	95·7	140	74·5	101·5
133	138	114	60·0	82·6	132	69·5	95·7	138	72·6	100·0
64	139	117	65·7	84·2	141	79·2	101·4	141	79·2	101·4
96	139	113	65·3	81·3	134	77·5	96·4	136	78·6	97·8
79	139	117	60·6	84·2	136	70·8	97·8	142	74·6	102·2
59	140	—	—	—	138	76·2	98·6	145	80·1	103·6
19	140	116	60·4	82·9	—	—	—	138	71·9	98·6
52	140	120	68·2	85·7	140	79·6	100·0	143	81·3	102·1
28	140	115	64·3	82·1	127	71·0	90·7	134	74·9	95·7
1	140	117	64·3	83·6	132	72·5	94·3	137	75·3	97·9
23	140	113	61·8	80·7	133	72·7	95·0	141	77·1	100·7
48	140	118	64·1	84·3	—	—	—	141	76·6	100·7
115	140	117	62·6	83·6	128	68·5	91·4	134	71·7	95·7
18	141	119	65·4	84·4	134	73·6	95·0	143	78·6	101·4
103	141	120	64·9	85·1	136	73·5	96·5	145	78·4	102·8
98	141	113	60·4	80·1	127	67·9	90·1	134	71·7	95·0
69	143	119	66·5	83·2	139	77·7	97·2	142	79·3	99·3
111	143	113	60·1	79·0	135	71·8	94·4	140	74·5	97·9
92	144	118	64·8	81·9	137	75·3	95·1	143	78·6	99·3
83	144	115	61·8	79·9	132	71·0	91·7	140	75·3	97·2
21	146	121	65·4	82·9	142	76·8	97·3	146	78·9	100·0
Summe	71	67	67	67	65	65	65	70	70	70
El-Kubanieh Süd. ♀										
34	122	—	—	—	—	—	—	—	—	—
86	124	100	59·5	80·7	123	73·2	99·2	128	76·2	103·2
74	125	105	62·5	84·0	122	72·6	97·6	130	77·4	104·0
38	126	110	63·2	87·3	125	71·8	99·2	131	75·3	104·0

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Breite geordnet.

Nr.	Gr. Br.	Ohr-H.	Verhältnis zur		Basion Bregma H.	Verhältnis zur		Gesamt-H.	Verhältnis zur	
			Gr. L.	Gr. Br.		Gr. L.	Gr. Br.		Gr. L.	Gr. Br.
93	127	112	64·7	88·2	134	77·5	105·5	142	82·1	111·8
76	127	117	68·4	92·1	132	77·2	103·9	138	80·7	108·7
126	128	106	59·6	82·8	121	68·0	94·5	132	74·2	103·1
56	128	111	64·2	86·7	—	—	—	138	79·8	107·8
80	129	108	61·7	83·7	126	72·0	97·7	133	76·0	103·1
90	129	114	67·9	88·4	130	77·4	100·8	136	81·0	105·4
16	130	—	—	—	125	73·5	96·2	131	77·1	100·8
11	130	113	62·8	86·9	127	70·6	97·7	134	74·4	103·1
95	131	108	62·8	82·4	128	74·4	97·7	131	76·2	100·0
66	131	110	61·8	84·0	128	71·9	97·7	130	73·0	99·2
123	131	108	61·4	82·4	—	—	—	—	—	—
47	132	111	66·1	84·1	127	75·6	96·2	131	78·0	99·2
20	132	112	64·4	84·9	125	71·8	94·7	131	75·3	99·2
44	132	117	66·9	88·6	138	78·9	104·6	141	80·6	106·8
71	132	102	58·0	77·3	118	67·1	89·4	123	69·9	93·2
97	132	114	64·8	86·4	135	76·7	102·3	139	79·0	105·3
61	132	108	60·0	81·8	125	69·4	94·7	130	72·2	98·5
8	132	111	61·0	84·1	133	73·1	100·8	138	75·8	104·6
100	133	—	—	—	—	—	—	—	—	—
67	133	111	62·4	83·5	128	71·9	96·2	135	75·8	101·5
30	134	109	62·3	81·3	125	71·4	93·3	129	73·7	96·3
116	134	118	65·9	88·1	134	74·9	100·0	140	78·2	104·5
87	134	111	61·3	82·8	126	69·6	94·0	132	72·9	98·5
40	134	113	64·6	84·3	132	75·4	98·5	135	77·1	100·7
58	134	106	60·2	79·1	129	73·3	96·3	134	76·1	100·0
91	135	—	—	—	—	—	—	135	72·2	100·0
118	135	114	63·3	84·4	135	75·0	100·0	141	78·3	104·4
26	135	120	64·9	88·9	—	—	—	—	—	—
4	136	111	64·2	81·6	129	74·6	95·0	136	78·6	100·0
62	136	115	66·5	84·6	130	75·1	95·6	135	78·0	99·3
117	136	109	61·6	80·2	125	70·6	91·9	132	74·6	97·1
27	136	112	61·5	82·4	128	70·3	94·1	136	74·7	100·0
39	137	114	64·4	83·2	129	72·9	94·2	133	75·1	97·1
32	137	115	64·6	83·9	133	74·7	97·1	134	75·3	97·8
127	137	114	60·6	83·2	127	67·6	92·7	133	70·7	97·1
110	138	111	62·4	80·4	128	71·9	92·8	136	76·4	98·6
114	138	115	63·9	83·3	130	72·2	94·2	140	77·8	101·5
107	138	113	63·1	81·9	133	74·3	96·4	141	78·8	102·2
129	139	119	66·9	85·6	132	74·2	95·0	143	80·3	102·9
99	139	115	67·7	82·7	127	74·7	91·4	132	77·7	95·0
131	139	119	65·8	85·6	133	73·5	95·7	139	76·8	100·0
63	140	109	64·1	77·9	126	74·1	90·0	132	77·7	94·3
50	140	115	60·5	82·1	132	69·5	94·3	141	74·2	100·7
41	141	119	66·1	84·4	125	69·4	88·7	137	76·1	97·2
132	144	113	62·8	78·5	132	73·3	91·7	139	77·2	96·5
121	144	112	61·5	77·8	—	—	—	—	—	—
Summe	50	46	46	46	43	43	43	45	45	45

El-Kubanieh Nord.

♂

Nr.	Gr. Br.	Ohr-H.	Verhältnis zur		Basion Bregma H.	Verhältnis zur		Gesamt-H.	Verhältnis zur	
			Gr. L.	Gr. Br.		Gr. L.	Gr. Br.		Gr. L.	Gr. Br.
140	124	117	67·6	94·4	135	78·0	108·9	140	80·9	112·9
145	125	110	65·9	88·0	131	78·4	104·8	136	81·4	108·8
13	125	117	63·6	93·6	137	74·5	109·6	142	77·2	113·6
144	126	109	59·9	86·5	128	70·3	101·6	131	72·0	104·0
154	127	111	63·1	87·4	128	72·7	100·8	135	76·7	106·3
142	128	121	66·5	94·5	135	74·2	105·5	143	78·6	111·7
189	128	118	61·1	92·2	138	71·5	107·8	141	73·1	110·2
184	129	114	64·0	88·4	134	75·3	103·9	139	78·1	107·8
169	130	112	65·5	86·2	127	74·3	97·7	134	78·4	103·1
161	131	115	65·0	87·8	133	75·1	101·5	139	78·5	106·1
152	132	113	64·9	85·6	129	74·1	97·7	135	77·6	102·3
141	133	118	61·8	88·7	136	71·2	102·3	141	73·8	106·0
3	133	119	68·0	89·5	135	77·1	101·5	140	80·0	105·3
146	133	113	59·5	85·0	139	73·2	104·5	144	75·8	108·3
174	133	125	66·5	94·0	141	75·0	106·0	145	77·1	109·0
186	133	121	62·1	91·0	—	—	—	—	—	—
5	133	115	64·3	86·5	140	78·2	105·3	144	80·5	108·3
172	134	112	60·9	83·6	133	72·3	99·3	—	—	—
139	135	119	64·3	88·2	140	75·7	103·7	142	76·8	105·2
167	135	116	67·8	85·9	—	—	—	—	—	—
160	136	126	66·7	92·7	139	73·5	102·2	—	—	—
177	136	115	65·0	84·6	136	76·8	100·0	140	79·1	102·9
150	137	113	62·4	82·5	137	75·7	100·0	138	76·2	100·7
151	137	116	62·4	84·7	135	72·6	98·5	140	75·3	102·2
168	137	114	62·3	83·2	135	73·8	98·5	139	76·0	101·5
182	137	111	60·7	81·0	133	72·7	97·1	137	74·9	100·0
190	137	119	64·0	86·9	143	76·9	104·4	144	77·4	105·1
165	138	114	61·0	82·6	134	71·7	97·1	134	71·7	97·1
14	138	115	63·9	83·3	139	77·2	100·7	144	80·0	104·4
137	139	117	65·4	84·2	135	75·4	97·1	140	78·2	100·7
148	139	116	64·8	83·5	136	76·0	97·8	142	79·3	102·2
155	139	121	66·9	87·1	143	79·0	102·9	148	81·8	106·5
166	140	118	63·1	84·3	144	77·0	102·9	144	77·0	102·9

Schädel von El-Kubanieh, nach der größten Breite geordnet.

Nr.	Gr. Br.	Ohr-H.	Verhältnis zur Gr. L.	Verhältnis zur Gr. Br.	Basion Bregma H.	Verhältnis zur Gr. L.	Verhältnis zur Gr. Br.	Gesamt H.	Verhältnis zur Gr. L.	Verhältnis zur Gr. Br.
6	140	—	—	—	140	73·7	100·0	147	77·4	105·0
181	141	115	61·2	81·6	135	71·8	95·7	141	75·0	100·0
183	142	116	63·4	81·7	139	76·0	97·9	140	76·5	98·6
185	144	117	62·6	81·3	135	72·2	93·8	142	75·9	98·6
Summe	37	36	36	36	35	35	35	33	33	33

El-Kubanieh Nord.

♀

Nr.	Gr. Br.	Ohr-H.	Verhältnis zur Gr. L.	Verhältnis zur Gr. Br.	Basion Bregma H.	Verhältnis zur Gr. L.	Verhältnis zur Gr. Br.	Gesamt H.	Verhältnis zur Gr. L.	Verhältnis zur Gr. Br.
187	121	111	63·1	91·7	131	74·4	108·3	136	77·3	112·4
12	124	115	65·3	92·7	133	75·6	107·3	139	79·0	112·1
162	125	103	64·4	82·4	123	76·9	98·4	129	80·6	103·2
143	126	103	62·4	81·8	—	—	—	—	—	—
153	126	116	64·4	92·1	132	73·3	104·8	136	75·6	107·9
180	126	118	64·1	93·7	—	—	—	—	—	—
191	127	109	67·3	85·8	130	80·3	102·4	134	82·7	105·5
149	129	108	62·4	83·7	127	73·4	98·5	132	76·3	102·3
178	129	—	—	—	128	69·6	99·2	134	72·8	103·9
156	130	108	62·4	83·1	125	72 3	96·2	129	74·6	99·2
175	130	111	63·8	85·4	—	—	—	—	—	—
164	133	111	63·8	83·5	131	75·3	98·5	133	76·4	100·0
158	134	113	60·8	84·3	129	69·4	96·3	143	76·9	106·7
138	135	114	61·6	84·4	134	72·4	99·3	138	74·6	102·2
157	135	112	65·5	83·0	125	73·1	92·6	132	77·2	97·8
163	135	114	64·8	84·4	129	73·3	95·6	138	78·4	102·2
170	135	115	64·3	85·2	133	74·3	98·5	138	77·1	102·2
188	135	118	65·6	87·4	136	75·6	100·7	144	80·0	106·7
7	135	—	—	—	132	77·2	97·8	137	80·1	101·5
176	138	114	65·9	82·6	133	76·9	96·4	138	79·8	100·0
147	140	115	61·2	82·1	129	68·6	92·1	131	69·7	93·6
159	141	115	63·9	81·6	130	72·2	92·2	134	74·4	95·0
Summe	22	20	20	20	19	19	19	19	19	19

Tabelle IV*b*.

Relatives Verhältnis der Länge, Breite und Höhe der Schädel zu dem Rauminhalt, nach dem Rauminhalt geordnet.

El-Kubanieh Süd. ♂

Nr.	Rauminhalt	Gr. Länge		Gr. Breite		Ges. Höhe		Ohrhöhe	
		absol.	relativ	absol.	relativ	absol.	relativ	absol.	relativ
106	1580	200	171·7	136	116·8	147	126·2	123	105·6
103	1560	185	159·5	141	121·6	145	125·0	120	103·5
21	1550	185	159·9	146	126·2	146	126·2	121	104·6
108	1510	186	162·1	137	119·4	140	122·0	113	98·5
49	1510	181	157·8	136	118·5	146	127·3	120	104·6
105	1500	189	165·1	134	117·1	148	129·3	119	104·0
104	1500	188	164·2	137	119·7	145	126·7	121	105·7
83	1500	186	162·5	144	125·8	140	122·3	115	100·5
79	1490	193	169·0	139	121·7	142	124·3	117	102·4
33	1490	183	160·2	134	117·3	144	126·1	119	104·2
111	1480	188	165·0	143	125·5	140	122·8	113	99·2
19	1475	192	168·7	140	123·0	138	121·3	116	101·9
60	1470	192	168·9	135	118·7	146	128·4	122	107·3
69	1470	179	157·4	143	125·8	142	124·9	119	104·7
128	1465	185	162·9	138	121·5	142	125·1	115	101·3
115	1460	187	164·8	140	123·4	134	118·1	117	103·1
120	1450	184	162·6	138	121·9	136	120·2	111	98·1
48	1450	184	162·6	140	123·7	141	124·6	118	104·3
31	1450	180	159·0	135	119·3	141	124·6	116	102·5
133	1445	190	168·1	138	122·1	138	122·1	114	100·8
43	1445	187	165·4	136	120·3	140	123·9	119	105·3
101	1440	191	169·1	134	118·7	143	126·6	112	99·2
89	1440	185	163·8	135	119·6	141	124·9	117	103·6
78	1430	185	164·2	137	121·6	142	126·0	117	103·9
102	1430	179	158·9	138	122·5	138	122·5	120	106·5
112	1420	188	167·3	138	122·8	141	125·4	114	101·4
119	1420	187	166·4	136	121·0	139	123·7	115	102·3
122	1420	185	164·6	137	121·9	134	119·2	112	99·6
85	1420	179	159·3	132	117·4	141	125·4	116	103·2
98	1410	187	166·8	141	125·7	134	119·5	113	100·8
94	1410	186	165·9	133	118·6	138	123·1	116	103·4
28	1410	179	159·6	140	124·8	134	119·5	115	102·6
18	1395	182	162·9	141	126·1	143	127·9	119	106·5
68	1390	182	163·1	136	121·9	138	123·7	115	103·0

Nr.	Rauminhalt	Gr. Länge		Gr. Breite		Ges. Höhe		Ohrhöhe	
		absol.	relativ	absol.	relativ	absol.	relativ	absol.	relativ
92	1390	182	163·1	144	129·0	143	128·1	118	105·7
52	1370	176	158·5	140	126·1	143	128·8	120	108·0
59	1370	181	163·0	140	126·1	145	130·6	—	—
64	1370	178	160·3	138	124·3	141	127·0	117	105·3
10	1360	187	168·8	137	123·7	135	121·8	113	102·0
37	1360	181	163·4	136	122·8	132	119·1	111	100·2
136	1350	188	170·1	138	124·9	140	126·7	113	102·2
1	1340	182	165·1	140	127·0	137	124·3	117	106·1
23	1340	183	166·0	140	127·0	141	127·9	113	102·5
53	1330	183	166·4	135	122·8	140	127·3	115	104·6
17	1320	176	160·4	136	124·0	133	121·2	114	103·7
73	1320	175	159·5	135	123·1	139	126·7	118	107·6
134	1320	187	170·5	137	124·9	134	122·2	114	103·9
84	1315	184	168·0	133	121·4	137	125·0	115	104·9
130	1315	184	168·0	135	123·2	137	125·0	109	99·5
29	1290	190	174·5	136	124·9	137	125·9	118	108·4
42	1280	185	170·4	135	124·3	130	119·7	107	98·5
96	1280	173	159·3	139	128·0	136	125·3	113	104·1
51	1265	179	165·5	138	127·6	135	124·8	115	106·3
124	1265	184	170·2	132	122·0	135	124·8	114	105·4
55	1260	178	164·8	132	122·2	136	125·9	115	106·5
22	1240	185	172·2	130	121·0	137	127·5	—	—
125	1240	186	173·1	134	124·7	135	125·7	109	101·5
[1] 15	1220	175	163·8	123	115·1	135	126·3	110	102·9
65	1210	174	163·3	130	122·0	135	126·7	112	105·1
117a	1210	180	168·9	132	123·9	131	122·9	108	101·4
72	1195	181	170·6	132	124·4	135	127·2	113	106·5
25	1180	175	165·6	129	122·1	131	124·0	108	102·2
70	1170	171	162·3	124	117·7	135	128·1	111	105·3
2	1160	175	166·6	124	118·0	135	128·5	116	110·2
82	1135	170	162·9	129	123·7	129	123·7	111	106·4
77	1130	173	166·1	128	122·9	124	119·1	106	101·8
9	1095	171	165·9	127	123·2	129	125·1	—	—
57	1070	163	159·4	128	125·1	134	131·0	109	106·6
Summe	68	68	68	68	68	68	68	65	65

[1] Juvenil.

Relatives Verhältnis der Länge, Breite und Höhe der Schädel zu dem Rauminhalt, nach dem Rauminhalt geordnet.

Nr.	Rauminhalt	Gr. Länge		Gr. Breite		Ges. Höhe		Ohrhöhe	
		absol.	relativ	absol.	relativ	absol.	relativ	absol.	relativ
El-Kubanieh Süd. ♀									
132	1490	180	157·6	144	126·1	139	121·7	113	98·9
131	1460	181	159·5	139	122·5	139	122·5	119	104·9
50	1430	190	168·6	140	124·3	141	125·2	115	102·1
41	1425	180	159·9	141	125·2	137	121·7	119	105·7
121	1410	182	162·3	144	128·4	—	—	112	99·9
114	1400	180	160·9	138	123·4	140	125·1	115	102·8
91	1390	187	167·6	135	121·0	135	121·0	—	—
116	1390	179	160·4	134	120·1	140	125·4	118	105·7
39	1380	177	159·0	137	123·0	133	119·5	114	102·4
118	1380	180	161·7	135	121·2	141	126·6	114	102·4
97	1370	176	158·5	132	118·9	139	125·2	114	102·6
11	1360	180	162·5	130	117·3	134	120·9	113	102·0
129	1350	178	161·1	139	125·8	143	129·4	119	107·7
8	1330	182	165·5	132	120·0	138	125·5	111	100·9
87	1330	181	164·6	134	121·8	132	120·0	111	100·9
4	1320	173	157·7	136	124·0	136	124·0	111	101·2
40	1320	175	159·5	134	122·2	135	123·1	113	103·0
62	1320	173	157·7	136	124·0	135	123·1	115	104·8
63	1315	170	155·2	140	127·7	132	120·4	109	99·5
32	1300	178	163·1	137	125·5	134	122·8	115	105·4
44	1300	175	160·3	132	120·9	141	129·2	117	107·2
117	1290	177	162·6	136	124·9	132	121·3	109	100·1
58	1280	176	162·1	134	123·4	134	123·4	106	97·6
67	1280	178	163·9	133	122·5	135	124·3	111	102·2
80	1280	175	161·2	129	118·8	133	122·5	108	99·5
30	1255	175	162·3	134	124·2	129	119·7	109	101·1
126	1250	178	165·2	128	118·8	132	122·5	106	98·4
61	1240	180	167·5	132	122·9	130	121·0	108	100·5
107	1230	179	167·1	138	128·8	141	131·6	113	105·5
27	1220	182	170·3	136	127·3	136	127·3	112	104·8
20	1205	174	163·5	132	124·0	131	123·1	112	105·3
110	1190	178	168·0	138	130·2	136	128·3	111	104·7
90	1190	168	158·5	129	121·7	136	128·3	114	107·6
76	1190	171	161·4	127	119·8	138	130·2	117	110·4
38	1190	174	164·2	126	118·9	131	123·6	110	103·8
34	1190	177	167·0	122	115·1	—	—	—	—
95	1180	172	162·8	131	124·0	131	124·0	108	102·2
47	1180	168	159·0	132	124·9	131	124·0	111	105·0
93	1165	173	164·4	127	120·7	142	134·9	112	106·4
16	1160	170	161·8	130	123·7	131	124·7	—	—
71	1130	176	169·0	132	126·7	123	118·1	102	97·9
74	1130	168	161·3	125	120·0	130	124·8	105	100·8
86	1080	168	163·7	124	120·9	128	124·8	100	97·5
Summe	43	43	43	43	43	41	41	40	40
El-Kubanieh Nord. ♂									
185	1540	187	161·9	144	124·7	142	123·0	117	101·3
155	1480	181	158·8	139	122·0	148	129·9	121	106·2
151	1470	186	163·6	137	120·5	140	123·1	116	102·0
165	1460	187	164·8	138	121·6	134	118·1	114	100·5
6	1460	190	167·5	140	123·4	147	129·6	—	—
141	1460	191	168·4	133	117·2	141	124·3	118	104·0
183	1455	183	161·5	142	125·3	140	123·5	116	102·4
189	1450	193	170·5	128	113·1	141	124·6	118	104·3
14	1440	180	159·4	138	122·2	144	127·5	115	101·8
174	1420	188	167·3	133	118·3	145	129·0	125	111·2
150	1410	181	161·4	137	122·2	138	123·1	113	100·8
172	1390	184	164·9	134	120·1	—	—	112	100·4
148	1390	179	160·4	139	124·6	142	127·2	116	103·9
168	1380	183	164·4	137	123·0	139	124·8	114	102·4
5	1380	179	160·8	133	119·5	144	129·3	115	103·3
139	1370	185	166·6	135	121·6	142	127·9	119	107·1
137	1360	179	161·6	139	125·5	140	126·4	117	105·6
161	1350	177	160·2	131	118·5	139	125·8	115	104·1
3	1335	175	158·9	133	120·7	140	127·1	119	108·1
182	1300	183	167·7	137	125·5	137	125·5	111	101·7
146	1290	190	174·5	133	122·2	144	132·3	113	103·8
154	1230	176	164·3	127	118·5	135	126·0	111	103·6
144	1220	182	170·3	126	117·9	131	122·6	109	102·0
142	1195	182	171·5	128	120·6	143	134·8	121	114·0
169	1150	171	163·2	130	124·1	134	127·9	112	106·9
145	1110	167	161·3	125	120·7	136	131·4	110	106·2
140	1090	173	168 1	124	120·5	140	136·0	117	113·7
Summe	27	27	27	27	27	26	26	26	26

Relatives Verhältnis der Länge, Breite und Höhe der Schädel zu dem Rauminhalt, nach dem Rauminhalt geordnet.

Nr.	Rauminhalt	Gr. Länge		Gr. Breite		Ges. Höhe		Ohrhöhe	
		absol.	relativ	absol.	relativ	absol.	relativ	absol.	relativ
El-Kubanieh Nord. ♀									
188	1480	180	158·0	135	118·5	144	126·4	118	103·5
138	1400	185	165·4	135	120·7	138	123·4	114	101·9
147	1380	188	168·9	140	125·7	131	117·7	115	103·3
12	137	176	158·5	124	111·6	139	125·2	115	103·5
178	1300	184	168·6	129	118·2	134	122·8	—	—
180	1290	184	169·0	126	115·7	—	—	118	108·4
163	1280	176	162·1	135	124·3	138	127·1	114	105·0
158	1280	186	171·3	134	123·4	143	131·7	113	104·1
170	1275	179	165·1	135	124·5	138	127·3	115	106·1
164	1260	174	161·1	133	123·1	133	123·1	111	102·8
176	1250	173	160·6	138	128·1	138	128·1	114	105·8
157	1230	171	159·6	135	126·0	132	123·2	112	104·5
175	1210	174	163·3	130	122·0	—	—	111	104·2
156	1200	173	162·8	130	122·3	129	121·4	108	101·6
149	1160	173	164·6	129	122·8	132	125·6	108	102·8
191	1050	162	159·4	127	125·0	134	131·8	109	107·2
162	1010	160	159·5	125	124·6	129	128·6	103	102·7
Summe	17	17	17	17	17	15	15	16	16

Tabelle V.

Schädel von El-Kubanieh, nach der Nasion-Inionlinie geordnet.

Nr.	Nasion-Inionlinie	Br. der Basis	Längenbreitenindex der Basis	Asterion Br.	Verhältnis d. Asterion-Br. zur Br. d. Basis	Postbasionale L.	Postopisthionale L.	Hinterhauptloch		
								L.	Br.	Index
El-Kubanieh Süd. ♂										
57	152	108	71·1	97	89·8	83	49	32	26	81·3
70	155	104	67·1	97	93·3	89	54	34	29	85·3
77	157	112	71·3	96	85·7	85	53	33	26	78·8
55	158	110	69·6	—	—	89	54	34	28	82·4
82	158	106	67·1	104	98·1	87	52	34	31	91·2
113	158	114	72·2	103	90·4	82	49	33	30	90·9
2	159	118	74·2	105	89·0	75	40	34	32	94·1
25	159	109	68·6	96	88·1	92	—	—	—	—
73	159	121	76·1	104	86·0	82	49	33	28	84·9
102	159	115	72·3	102	88·7	93	59	33	27	81·8
49	160	118	73·8	105	89·0	91	55	35	26	74·3
28	161	118	73·3	106	89·8	92	59	33	29	87·9
18	162	121	74·7	104	86·0	96	61	35	30	85·7
65	162	102	63·0	103	101·0	86	48	37	33	89·2
9	163	112	68·7	97	86·6	—	—	34	27	79·4
43	163	116	71·2	108	93·1	—	62	—	32	—
96	163	107	65·6	99	92·5	85	53	31	26	83·9
51	164	111	67·7	101	91·0	95	62	33	26	78·8
84	164	116	70·7	100	86·2	91	58	32	27	84·4
117a	165	110	66·7	103	93·6	83	49	33	28	84·6
64	166	110	66·3	101	91·8	88	59	28	26	92·9
52	166	120	72·3	105	87·5	85	54	29	29	100·0
68	166	108	65·1	104	96·3	97	63	34	28	82·4
85	166	113	68·1	99	87·6	100	63	36	29	80·6
15	167	107	64·1	102	95·3	—	54	—	—	—
48	167	126	75·5	101	80·2	—	54	36	29	80·6
1	169	120	71·0	103	85·8	88	52	36	29	80·6
21	169	123	72·8	111	90·2	90	52	37	31	83·8
37	169	124	73·4	105	84·7	93	57	35	31	88·6
69	169	107	63·3	98	91·6	84	52	31	28	90·3
115	169	125	74·0	110	88·0	97	60	37	31	83·8
135	169	119	70·4	104	87·4	86	47	39	31	79·5
23	170	110	64·7	105	95·4	97	61	36	29	80·6
29	170	113	66·5	105	92·9	96	65	32	25	78·1
33	170	116	68·2	106	91·4	82	48	34	29	85·3
59	170	115	67·7	104	90·4	—	—	29	27	93·1
72	170	108	63·5	102	94·4	90	55	34	27	79·4
92	170	113	66·5	101	89·4	95	63	32	26	81·3
104	170	122	71·8	107	87·7	92	54	38	30	79·0
119	170	118	69·4	107	90·7	89	53	36	33	91·7
78	171	119	69·6	—	—	93	60	33	28	73·7
94	171	117	68·4	103	88·0	95	63	31	27	87·1
111	171	120	70·2	110	91·7	90	51	39	29	74·4
130	171	118	69·0	103	87·3	89	58	34	32	94·1
22	172	119	69·2	108	90·8	—	—	39	30	76·9
31	172	115	66·9	98	85·2	88	50	37	31	83·8
83	172	119	69·2	111	93·3	98	61	37	29	78·4
108	172	117	68·0	108	92·3	100	67	33	30	90·9
124	172	119	69·2	110	92·4	96	62	34	26	76·5
128	172	121	70·4	111	91·7	91	54	35	29	82·9
17	173	117	67·6	105	89·7	91	56	36	28	77·8
60	173	121	69·9	109	90·1	93	52	41	35	85·4
98	173	114	65·9	98	86·0	92	59	33	31	93·9
101	173	117	67·6	110	94·0	97	60	36	27	75·0
42	174	124	71·3	107	86·3	90	64	36	28	77·8
112	174	116	66·7	97	83·6	88	55	34	26	76·5
120	174	123	70·7	105	85·4	88	50	36	31	86·1
134	174	121	69·5	107	88·4	89	54	35	29	82·9
24	175	—	—	—	—	—		—	—	—
89	175	119	68·0	109	91·6	94	53	40	32	80·0
103	175	122	69·7	109	89·3	89	52	38	30	79·0
125	175	115	65·7	104	90·4	—	52	—	—	—
19	176	122	69·3	103	84·4	—	56	—	—	—
105	176	119	67·6	103	86·6	—	54	—	—	—
10	177	117	66·1	106	90·6	95	60	36	29	80·6
53	177	115	65·0	111	96·5	89	50	37	29	78·4
122	177	120	67·8	111	92·5	89	50	39	31	79·5
136	178	119	66·8	104	87·4	93	60	32	27	84·4
106	179	121	67·6	114	94·2	97	61	36	—	—
133	181	122	67·4	113	92·6	82	44	38	31	81·6
79	182	120	65·9	—	—	99	66	33	28	84·9
Summe	71	70	70	67	67	61	66	64	64	63

Schädel von El-Kubanieh, nach der Nasion-Inionlinie geordnet.

Nr.	Nasion-Inionlinie	Br. der Basis	Längenbreitenindex der Basis	Asterion Br.	Verhältnis d. Asterion-Br. zur Br. d. Basis	Postbasionale L.	Postopisthionale L.	Hinterhauptloch		
								L.	Br.	Index
El-Kubanieh Süd. ♀										
99	147	105	71·4	93	88·6	81	48	31	27	87·1
16	152	108	71·1	99	91·7	—	—	34	27	79·4
87	152	109	71·7	103	94·5	94	60	33	—	—
76	153	106	69·3	103	97·2	82	47	35	28	80·0
100	153	116	75·8	95	81·9	—	—	—	—	—
47	154	109	70·8	102	93·6	87	53	34	31	91·2
63	154	112	72·7	101	90·2	89	54	34	27	79·4
74	154	106	68·8	96	90·6	86	54	33	29	87·9
110	154	113	73·4	99	87·6	91	58	33	28	84·9
62	156	110	70·5	103	93·6	87	54	33	31	93·9
86	156	109	69·9	101	92·7	89	55	33	29	87·9
66	157	116	73·9	104	89·7	91	—	—	—	—
44	159	116	73·0	106	91·4	—	—	33	27	81·8
67	159	112	70·4	100	89·3	91	—	—	27	—
71	159	117	73·6	102	87·2	—	—	35	—	—
90	159	110	69·2	99	90·0	83	50	31	30	96·8
20	160	111	69·4	105	94·6	91	58	34	26	76·5
41	160	111	69·4	106	95·5	94	60	35	25	71·4
34	161	109	67·7	98	89·9	—	—	—	—	—
39	161	120	74·5	108	90·0	91	54	36	30	83·3
40	161	110	68·3	101	91·8	85	54	32	28	87·5
93	161	110	68·3	101	91·8	84	47	36	31	86·1
95	161	111	68·9	99	89·2	85	51	32	29	90·6
11	163	113	69·3	107	94·7	87	54	35	29	82·9
38	163	111	68·1	100	90·1	84	50	34	33	97·1
97	163	111	68·1	101	90·9	—	—	36	30	83·3
118	163	109	66·9	96	88·1	96	64	34	28	82·4
30	164	107	65·2	106	99·1	90	56	35	26	74·3
80	164	114	69·5	101	88·6	91	57	33	27	81·8
107	164	113	68·9	107	94·7	88	54	34	29	85·3
123	164	115	70·1	98	85·2	—	—	36	27	75·0
56	165	106	64·2	103	97·2	—	56	—	28	—
61	165	107	64·9	105	98·1	91	56	34	28	82·4
121	165	112	67·9	97	86·6	—	—	—	—	—
129	165	120	72·7	106	88·3	86	51	35	29	82·9
50	166	110	66·3	102	92·7	100	67	33	25	75·8
116	166	112	67·5	107	95·5	89	55	33	29	87·9
58	167	120	71·9	105	87·5	85	48	36	31	86·1
114	167	119	71·3	109	91·6	85	51	33	30	90·9
132	167	121	72·5	111	91·7	94	56	37	32	86·5
4	168	114	67·9	108	94·7	89	59	33	32	97·0
32	168	115	68·5	104	90·4	87	52	35	28	80·0
91	168	112	66·7	106	94·6	95	62	33	29	87·9
131	170	112	65·9	104	92·9	91	56	35	28	80·0
126	171	115	67·3	100	87·0	90	51	39	31	79·5
26	172	112	65·1	—	—	—	—	—	—	—
27	172	114	66·3	—	—	95	60	35	27	77·1
117	173	116	67·1	102	87·9	90	55	35	26	74·3
8	174	118	67·8	104	88·1	94	57	36	31	86·1
127	177	118	66·7	105	89·0	—	57	—	—	—
Summe	50	50	50	48	48	39	39	42	42	40
El-Kubanieh Nord. ♂										
145	158	105	66·5	98	93·3	80	45	33	26	78·8
169	160	114	71·3	96	84·2	86	—	—	28	—
152	161	115	71·4	100	87·0	97	56	33	30	90·9
140	162	108	66·7	93	86·1	—	54	—	—	—
154	162	109	67·3	99	90·8	91	62	30	27	90·0
167	162	112	69·1	—	—	—	—	—	—	—
177	162	117	72·2	109	93·2	86	48	37	32	86·5
137	164	113	68·9	101	89·4	87	54	32	29	90·6
3	164	122	74·4	106	86·9	73	37	36	30	83·3
150	165	116	70·3	111	95·7	94	61	34	29	85·3
190	165	122	73·9	98	80·3	97	60	36	31	86·1
172	166	120	72·3	104	86·7	93	57	35	—	—
185	167	120	71·9	104	86·7	97	60	37	27	73·0
144	168	112	66·7	102	91·1	89	53	35	29	82·9
161	168	110	65·5	102	92·7	84	52	32	28	87·5
183	168	119	70·8	100	84·0	98	62	36	30	83·3
184	168	104	61·9	97	93·3	84	48	34	28	82·4
5	168	113	67·3	101	89·4	91	57	34	29	85·3
142	169	114	67·5	111	97·4	87	50	36	28	77·8
148	169	117	69·2	103	88·0	84	47	37	29	78·4
166	170	118	69·4	105	89·0	96	61	36	29	80·6
168	170	121	71·2	—	—	90	57	33	28	84·9

Schädel von El-Kubanieh, nach der Nasion-Inionlinie geordnet.

Nr.	Nasion-Inionlinie	Br. der Basis	Längenbreitenindex der Basis	Asterion Br.	Verhältnis d. Asterion-Br. zur Br. d. Basis	Postbasionale L.	Postopisthionale L.	Hinterhauptloch L.	Hinterhauptloch Br.	Hinterhauptloch Index
155	171	118	69·0	107	90·7	88	53	34	30	88·2
174	171	116	67·8	110	94·8	96	61	33	28	84·9
182	171	110	64·3	102	92·7	94	58	35	31	88·6
13	171	112	65·5	105	93·8	89	52	38	28	73·7
139	172	120	69·8	99	82·5	93	56	35	30	85·7
6	172	117	68·0	—	—	—	—	38	30	79·0
14	172	119	69·2	102	85·7	83	47	36	28	77·8
151	173	115	66·5	108	93·9	91	53	37	31	83·8
165	175	122	69·7	104	85·3	97	63	33	29	87·9
141	176	120	68·2	114	95·0	103	66	37	32	86 5
160	176	116	65·9	116	100·0	97	—	—	—	—
181	178	112	62·9	105	93·8	96	64	32	29	90·6
189	181	112	61·9	107	95·5	97	61	37	29	78·4
146	185	118	63·8	107	90·7	97	60	35	32	91·4
186	188	120	63·8	105	87·5	—	—	—	—	—
Summe	37	37	37	34	34	33	32	32	32	32

El-Kubanieh Nord.

♀

Nr.	Nasion-Inionlinie	Br. der Basis	Längenbreitenindex der Basis	Asterion Br.	Verhältnis d. Asterion-Br. zur Br. d. Basis	Postbasionale L.	Postopisthionale L.	Hinterhauptloch L.	Hinterhauptloch Br.	Hinterhauptloch Index
191	148	106	71·6	97	91·5	85	53	31	29	93·6
157	152	102	67·1	96	94·1	89	56	33	26	78·8
162	152	102	67·1	98	96·1	86	53	33	28	84·9
143	153	108	70·6	95	88·0	—	47	—	—	—
163	156	107	68·6	98	91·6	96	65	31	26	83·9
176	156	109	69·9	96	88·1	88	55	33	27	81·8
7	158	115	72·8	107	93·0	—	—	32	29	90·6
12	159	109	68·6	98	89·9	93	58	36	28	77·8
149	159	110	69·2	104	94·6	88	55	32	27	84·4
156	161	108	67·5	104	96·3	90	58	33	28	84·9
159	162	115	71·0	103	89.6	94	62	32	27	84·4
175	162	110	67·9	97	88·2	—	54	—	—	—
164	163	116	71·2	104	89·7	83	46	36	29	80·6
153	164	107	65·2	104	97·2	90	—	—	29	—
188	164	115	70·1	114	99·1	94	59	34	28	82·4
170	166	115	69·3	102	88·7	89	55	35	27	77·1
187	168	106	63·1	99	93·4	83	46	36	31	86·1
147	169	114	67·5	114	100·0	101	72	29	27	93·1
178	171	115	67·3	104	90·4	—	—	32	28	87·5
180	174	109	62·6	99	90·8	—	—	—	—	—
158	176	115	65·3	107	93·0	96	63	34	31	91·2
138	179	116	64·8	104	89·7	90	50	38	34	89·5
Summe	22	22	22	22	22	17	18	18	19	18

Tabelle VI.

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längenbreitenindex geordnet.

Nr.	Obergesichts-H.	Joch-Br.	Obergesichtsindex	Ganze Gesichts-H.	Gesichtsindex	Nasion-Basionlinie	Alveolar-Basionlinie	Oberkiefer-Br.	Index cranio-facialis
El-Kubanieh Süd. ♂									
106	71	—	—	—	—	—	—	—	—
101	67	122	54·9	—	—	103	94	89	91·0
15	65	112	58·0	—	—	—	—	94	91·1
22	–	—	—	—	—	100	—	—	—
60	67	137	48·9	—	—	106	99	99	101·5
2	60	132	45·5	103	78·0	102	113	98	106·5
105	67	130	51·5	—	—	—	—	95	97·0
94	69	125	55·2	—	—	100	96	92	94·0
29	75	123	61·0	—	—	99	100	98	90·4
124	76	128	59·4	—	—	100	96	91	97·0
135	74	129	57·4	—	—	106	98	96	96·3
125	66	—	—	—	—	—	—	101	—
79	76	128	59·4	—	—	104	102	95	92·1
84	74	124	59·7	—	—	105	104	95	93·2
70	70	—	—	—	—	94	89	—	—
133	75	—	—	—	—	107	102	—	—
43	—	125	—	—	—	—	—	94	91·9
119	66	127	52·0	—	—	104	101	98	93·4
72	65	—	—	—	—	96	95	—	—
104	68	131	51·9	—	—	102	102	93	95·6
19	72	—	—	—	—	—	—	95	—
42	73	127	57·5	—	—	97	95	92	94·1
89	72	125	57·6	—	—	102	99	97	92·6
33	71	126	56·4	—	—	112	110	90	94·0
117a	73	—	—	—	—	103	—	93	—
10	71	128	55·5	—	—	99	98	97	93·4
134	65	129	50·4	110	91·5	99	104	101	94·2
130	71	—	—	—	—	105	107	93	—
112	72	127	56·7	—	—	108	103	96	92·0
136	68	135	50·4	110	81·5	103	105	105	97·8
25	66	115	57·4	—	—	95	97	85	89·2
85	74	122	60·7	—	—	95	91	95	92·4
108	69	—	—	—	—	95	91	—	—
53	73	128	57·0	—	—	103	98	98	94·8
77	63	119	52·9	—	—	94	96	93	93·0
78	74	130	56·9	—	—	101	100	103	92·9
122	77	132	58·3	—	—	104	104	105	96·4
55	72	117	61·5	—	—	97	92	92	88·6
9	—	121	—	—	—	97	—	—	95·3
113	—	—	—	—	—	94	—	—	—
128	77	138	55·8	—	—	106	106	108	100·0
65	66	108	61·6	—	—	99	94	81	83·1
68	—	118	—	—	—	95	—	92	86·8
115	74	132	56·1	—	—	97	99	99	94·3
31	71	—	—	—	—	103	100	—	—
120	72	130	55·4	—	—	107	101	96	94·2
37	73	132	55·3	117	88·6	101	—	99	97·1
49	67	—	—	—	—	99	96	100	—
98	68	—	—	—	—	96	102	—	—
82	68	116	58·6	—	—	94	89	90	89·9
48	65	134	48·5	—	—	—	—	101	95·7
111	70	137	51·1	—	—	104	101	94	95·8
103	68	130	52·3	—	—	104	97	97	92·2
23	—	120	—	—	—	97	—	—	85·7
1	78	129	60·5	—	—	101	99	96	92·1
73	68	128	53·1	113	88·3	100	93	96	94·8
51	64	115	55·7	—	—	93	89	87	83·3
102	63	126	50·0	—	—	93	88	96	91·3
17	70	124	56·5	—	—	96	96	99	91·2
59	—	—	—	—	—	99	—	—	—
83	74	124	59·7	—	—	96	88	86	86·1
64	77	121	63·6	—	—	103	102	93	87·1
18	70	128	54·7	—	—	95	97	—	90·8
28	63	124	50·8	—	—	92	92	96	88·6
57	70	112	62·5	—	—	91	91	93	87·5
21	75	135	55·6	—	—	107	98	100	92·5
92	70	119	58·8	—	—	99	92	87	82·6
52	72	129	55·8	—	—	103	100	96	92·1
69	73	120	60·8	—	—	105	103	92	83·9
96	67	118	56·7	—	—	98	99	92	84·9
Summe	63	55	51	5	5	63	55	57	55

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längenbreitenindex geordnet.

Nr.	Obergesichts-H.	Joch-Br.	Obergesichtsindex	Ganze Gesichts-H.	Gesichtsindex	Nasion-Basionlinie	Alveolar-Basionlinie	Oberkiefer-Br.	Index cranio-facialis
El-Kubanieh Süd. ♀									
38	68	122	55·7	115	94·3	98	102	99	96·8
126	55	121	45 5	—	—	95	83	90	94·5
11	67	120	55·8	—	—	98	100	91	92·3
91	69	118	58·5	—	—	100	95	92	88·1
8	76	123	61·8	—	—	101	95	100	93·2
127	66	—	—	—	—	—	—	96	—
26	69	—	—	—	—	—	—	92	—
61	69	117	59·0	—	—	93	93	91	88·6
93	66	114	57·9	—	—	100	95	87	89·8
66	—	119	—	—	—	96	—	—	90·8
80	—	123	—	—	—	94	—	90	95·4
50	66	119	55·5	—	—	95	96	89	85·0
86	67	116	57·8	—	—	92	88	89	93·6
56	68	—	—	—	—	—	—	94	—
87	63	113	55·8	—	—	95	92	85	84·3
76	56	—	—	—	—	94	89	83	—
74	65	111	58·6	—	—	90	86	87	88·8
123	—	—	—	—	—	—	—	93	—
67	70	118	59·3	—	—	97	101	92	88·7
27	71	—	—	—	—	94	99	94	—
116	65	124	52·4	—	—	98	97	100	92·5
71	—	—	—	—	—	92	—	—	—
118	66	—	—	—	—	94	92	95	—
44	66	125	52·8	—	—	98	91	99	94·7
20	63	—	—	—	—	90	93	93	—
58	72	125	57·6	—	—	103	105	99	93·3
95	68	122	55·7	—	—	99	96	96	93·1
16	—	—	—	—	—	89	—	—	—
30	69	—	—	—	—	93	90	—	—
40	66	123	53·7	—	—	99	95	95	91·8
114	62	128	48·4	—	—	105	98	89	92·8
90	65	115	56·5	—	—	95	91	91	89·2
117	68	125	54·4	114	91·2	95	95	100	91·9
131	70	121	57·6	—	—	97	97	—	87·1
32	68	122	55·7	—	—	100	98	94	89·1
107	—	117	—	—	—	100	—	93	84·8
39	65	122	53·3	—	—	94	96	98	89·1
110	68	115	59·1	—	—	86	89	91	83·3
129	66	123	53·7	105	85·4	98	97	95	88·5
41	—	117	—	—	—	91	—	—	83·0
47	67	117	57·3	—	—	90	91	92	88·6
4	67	115	58·3	—	—	95	90	89	84·6
62	60	—	—	—	—	94	91	—	—
121	71	—	—	—	—	—	—	93	—
132	73	—	—	—	—	98	97	—	—
99	55	—	—	—	—	87	84	—	—
63	64	120	53·3	—	—	89	86	92	85·7
Summe	40	32	28	3	3	42	36	38	32
El-Kubanieh Nord. ♂									
189	71	—	—	—	—	104	103	89	—
13	—	—	—	108	—	106	—	90	—
186	73	131	55·7	115	87·8	—	—	96	98·5
144	68	124	54·8	114	91·9	102	96	90	98·4
141	—	130	—	—	—	99	—	—	97·7
146	72	129	55·8	—	—	107	93	101	97·0
142	—	124	—	—	—	102	—	95	96·9
174	—	126	—	—	—	97	—	—	94·7
140	65	119	54·6	—	—	—	—	90	96·0
160	—	—	—	—	—	101	—	90	—
154	62	118	52·5	111	94·1	95	91	94	92·9
184	—	—	—	102	—	101	—	89	—
172	74	125	59·2	—	—	104	96	95	93·3
139	75	130	57·7	—	—	104	100	98	96·3
151	73	—	—	—	—	104	99	—	—
190	75	—	—	126	—	103	96	—	—
6	72	—	—	—	—	103	—	—	—
165	69	134	51·5	114	85·1	97	91	102	97·1
161	72	122	59·0	—	—	102	92	99	93·1
5	65	124	52·4	105	84·7	99	90	93	93·2
145	68	112	60·7	107	95·5	98	97	90	89·6
166	—	125	—	—	—	105	—	98	89·3
168	66	136	48·5	113	83·1	97	97	101	99·3
182	73	121	60·3	121	100·0	100	98	97	88·3
181	69	124	55·7	113	91·1	103	98	92	87·9

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längenbreitenindex geordnet.

Nr.	Obergesichts-H.	Joch-Br.	Obergesichtsindex	Ganze Gesichts-H.	Gesichtsindex	Nasion-Basionlinie	Alveolar-Basionlinie	Oberkiefer-Br.	Index cranio-facialis
150	71	130	54·6	118	90·8	101	96	104	94·9
152	68	121	56·2	113	93·4	97	94	94	91·7
169	72	—	—	—	—	98	96	—	—
3	71	—	—	—	—	103	102	—	—
14	66	132	50·0	106	80·3	109	100	102	95·7
155	69	131	52·7	—	—	102	95	103	94·2
177	73	—	—	—	—	101	97	93	—
185	—	—	—	114	—	97	—	—	—
183	74	125	59·2	116	92·8	100	94	87	88·0
137	63	124	50·8	103	83·1	99	98	93	89·2
148	72	126	57·1	—	—	114	104	93	90·7
167	72	120	60·0	119	99·2	—	—	93	88·9
Summe	29	26	22	19	15	34	35	29	26

El-Kubanieh Nord.

♀

Nr.	Obergesichts-H.	Joch-Br.	Obergesichtsindex	Ganze Gesichts-H.	Gesichtsindex	Nasion-Basionlinie	Alveolar-Basionlinie	Oberkiefer-Br.	Index cranio-facialis
180	—	—	—	—	—	—	—	91	—
187	68	—	—	—	—	100	104	99	—
153	68	118	57·6	112	94·9	97	94	89	93·7

Nr.	Obergesichts-H.	Joch-Br.	Obergesichtsindex	Ganze Gesichts-H.	Gesichtsindex	Nasion-Basionlinie	Alevolar-Basionlinie	Oberkiefer-Br.	Index cranio-facialis
12	68	119	57·1	—	—	94	93	95	96·0
178	—	—	—	—	—	109	—	—	—
158	70	121	57·9	—	—	99	102	100	90·3
138	72	125	57·6	—	—	107	94	86	92·6
147	—	—	—	—	—	95	—	—	—
149	73	124	58·9	—	—	97	94	95	96·1
175	69	116	59·5	—	—	—	—	92	89·2
188	65	119	54·6	110	92·4	94	96	91	88·2
156	67	118	56·8	—	—	94	88	88	90·8
170	69	121	57·0	—	—	100	98	92	89·6
143	66	118	55·9	—	—	—	—	91	93·7
164	—	—	—	—	—	96	—	—	—
163	68	110	61·8	108	98·2	90	89	90	81·5
162	63	109	57·8	104	95·4	89	84	86	87·2
159	64	119	53·8	—	—	94	89	99	84·4
191	—	—	—	—	—	89	—	—	—
157	60	108	55·6	101	93·5	89	84	85	80·0
7	—	—	—	—	—	101	—	—	—
176	—	119	—	—	—	93	—	91	86·2
Summe	15	15	14	5	5	19	14	17	15

Tabelle VII.

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längenbreitenindex geordnet.

Nr.	Nasen- H.	Nasen- Br.	Nasen- Index	Interorbital-Br.	Augenhöhleneingang H.	Augenhöhleneingang Br.	Augenhöhleneingang Index	Größter Durchmesser	Umrißform
El-Kubanieh Süd. ♂									
106	51	26	51·0	27	30	38	79·0	40	elliptisch nahezu quer
101	50	21	42·0	22	31	35	88·6	38	elliptisch nahezu quer
15	48	24	50·0	19	32	36	88·9	39	nahezu kreisrund
60	50	28	56·0	30	31	41	75·6	43	annähernd rechteckig quer
2	42	28	66·7	27	31	40	77·5	41	elliptisch quer
105	52	27	51·9	23	31	37	83·8	39	elliptisch quer
94	51	27	52·9	22	32	39	82·1	43	elliptisch nahezu quer
29	49	26	53·1	25	34	42	81·0	44	elliptisch schief[1]
124	51	26	51·0	26	34	40	85·0	45	rhombisch schief
135	51	27	52·9	—	32	—	—	45	elliptisch quer
125	46	28	60·9	26	27	40	68·0	40	elliptisch quer
79	52	23	44·2	22	33	38	86·8	43	elliptisch schief
84	46	24	52·2	22	38	41	92·7	44	elliptisch sehr schief
70	50	25	50·0	22	34	37	91·9	43	rhombisch schief
133	55	26	47·3	21	31	42	73·8	44	elliptisch schief
43	45	25	55·6	25	32	38	84·2	41	elliptisch nahezu quer
119	46	26	56·5	24	32	36	88·9	37	elliptisch schief
72	46	23	50·0	23	29	36	80·6	38	elliptisch nahezu quer
104	47	23	48·9	22	33	38	86·8	41	rhombisch schief
19	54	25	46·3	26	34	39	87·2	43	elliptisch schief
42	52	22	42·3	21	36	38	94·7	40	annähernd kreisrund
89	53	24	45·3	—	34	40	85·0	43	elliptisch schief
33	52	27	51·9	26	36	39	92·3	42	elliptisch schief
117a	51	24	47·1	22	35	41	85·4	44	rhombisch schief
10	52	24	46·2	21	34	39	87·2	40	kurz elliptisch quer
134	47	25	53·2	22	30	37	81·1	38	elliptisch quer
130	49	25	51·0	18	32	40	80·0	41	rhombisch schief
112	49	21	42·9	20	30	42	71·4	43	elliptisch quer
136	50	28	56·0	27	31	40	77·5	40	elliptisch, etwas schief nach oben
25	47	23	48·9	23	33	35	94·3	38	elliptisch schief
85	52	24	46·2	24	38	36	105·6	43	elliptisch längs
108	50	25	50·0	22	32	38	84·2	41	elliptisch schief
53	51	25	49·0	23	34	38	89·5	40	elliptisch schief
77	46	25	54·4	22	33	38	86·8	41	elliptisch schief
78	53	24	45·3	—	31	39	79·5	40	elliptisch quer
122	54	27	50·0	25	34	40	85·0	43	rhombisch schief
55	49	24	49·0	23	38	38	100·0	44	l. annähernd kreisrund, r. rhombisch
113	—	—	—	—	32	—	—	42	rhombisch schief
128	52	27	51·9	26	33	41	80·5	43	rechteckig quer
65	48	21	43·7	18	35	37	94·6	40	elliptisch sehr schief
68	49	25	51·0	23	35	39	89·7	42	rhombisch schief
115	54	23	42·6	19	33	42	78·6	45	elliptisch schief
31	50	—	—	—	33	39	84·6	42	rechts: annähernd rechteckig schief
120	55	26	47·3	21	32	39	82·1	41	elliptisch quer
37	53	24	45·3	24	36	38	94·7	41	annähernd kreisförmig
49	47	23	48·9	24	31	37	83·8	40	elliptisch annähernd quer
98	50	—	—	—	33	40	82·5	45	rhombisch schief
82	46	24	52·2	23	36	40	90·0	43	elliptisch schief
48	48	25	52·1	22	30	37	81·1	37	elliptisch annähernd quer
111	48	24	50·0	23	32	42	76·2	44	elliptisch annähernd quer
103	49	24	49·0	21	33	41	80·5	45	elliptisch annähernd quer
23	45	24	53·3	23	31	35	88·6	38	elliptisch quer
1	54	28	51·9	26	31	35	88·6	38	elliptisch annähernd quer
73	48	27	56·3	24	31	37	83·8	40	elliptisch schief
51	50	25	50·0	21	37	37	100·0	42	elliptisch sehr schief
102	49	27	55·1	—	31	35	88·6	38	elliptisch annähernd quer
17	49	29	59·2	29	33	37	89·2	41	annähernd rechteckig schief
83	52	22	42·3	21	33	36	91·7	40	elliptisch quer
64	49	27	55·1	23	35	38	92·1	42	elliptisch schief
18	47	28	59·6	26	30	39	76·9	42	elliptisch quer
28	41	24	58·5	24	32	37	86·5	41	elliptisch schief

[1] etwas ungleich

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längenbreitenindex geordnet.

Nr.	Nasen-			Interorbital-Br.	Augenhöhleneingang				
	H.	Br.	Index		H.	Br.	Index	Größter Durchmesser	Umrißform
57	44	22	50·0	22	31	35	88·6	37	rhombisch schief
21	51	26	51·0	26	30	36	83·3	40	elliptisch quer
92	51	24	47·1	21	33	38	86·8	41	elliptisch schief
52	50	27	54·0	24	36	42	85·7	43	rhombisch schief
69	46	25	54·4	24	36	38	94·7	42	elliptisch schief
96	46	23	50·0	23	32	37	86·5	38	elliptisch annähernd quer
Summe	66	64	64	60	67	65	65	67	
El-Kubanieh Süd. ♀									
38	47	24	51·1	25	36	41	87·8	45	rhombisch schief
126	45	23	51·1	20	33	38	86·8	41	elliptisch schief
11	46	26	56·5	24	29	37	78·4	39	elliptisch schief
91	46	22	47·8	22	33	39	84·6	42	elliptisch schief
8	53	27	50·9	23	39	38	102·6	44	elliptisch sehr schief
127	49	26	53·1	—	34	—	—	39	annähernd kreisrund
26	59	25	42·4	23	34	39	87·2	42	elliptisch schief
61	49	21	42·9	20	36	38	94·7	41	annähernd quadratisch
93	48	22	45·8	22	34	38	89·5	41	elliptisch annähernd quer
66	—	—	—	—	33	36	91·7	40	rhombisch schief
80	52	23	44·2	—	33	39	84·6	40	elliptisch quer
50	45	23	51·5	22	34	36	94·4	41	l. annähernd quadratisch, r. elliptisch schief
86	47	23	48·9	23	32	35	91·4	39	elliptisch schief
56	48	27	56·3	—	32	38	84·2	41	elliptisch schief
87	44	26	59·1	21	34	35	97·1	39	annähernd kreisrund
76	40	23	57·5	21	35	36	97·2	40	l. annähernd kreisrund, r. elliptisch schief
74	45	21	46·7	19	31	36	86·1	39	elliptisch schief
67	47	24	51·1	23	34	38	89·5	41	elliptisch schief
27	49	25	51·0	—	—	—	—	—	—
116	48	26	54·2	23	31	40	77·5	40	elliptisch quer
79	52	23	44·2	22	33	38	86·8	43	elliptisch schief
118	46	26	56·5	25	31	39	79·5	42	l. elliptisch quer, r. rhombisch schief
44	49	25	51·0	23	36	40	90·0	41	kurz elliptisch annähernd quer
20	43	24	55·8	—	31	37	83·8	39	elliptisch quer
58	50	21	42·0	20	38	40	95·0	43	annähernd kreisrund
95	48	24	50·0	22	34	39	87·2	40	elliptisch quer
16	—	—	—	20	—	—	—	—	—
30	51	26	51·0	—	37	38	97·4	41	annähernd kreisrund
40	48	24	50·0	23	32	36	88·9	39	elliptisch annähernd quer
114	46	27	58·7	23	34	l. 41 r. 39	80·5	43	l. elliptisch annähernd quer, r. rhombisch schief
90	46	25	54·4	24	31	36	86·1	41	elliptisch quer
117	51	28	54·9	25	34	39	87·2	41	l. elliptisch quer, r. rhombisch schief
131	51	24	47·1	21	37	41	90·2	44	kurzelliptisch quer
32	47	28	59·6	26	30	37	81·1	39	rechteckig annähernd quer
107	—	26	—	21	34	37	91·9	39	elliptisch quer
39	44	23	52·3	24	35	39	89·7	41	elliptisch schief
110	45	26	57·8	22	32	37	86·5	41	rhombisch schief
129	47	26	55·3	—	31	40	77·5	42	elliptisch quer
41	—	—	—	—	r. 32	39	82·1	42	r. elliptisch quer
47	49	24	49·0	21	34	38	89·5	43	rhombisch sehr schief
4	50	25	50·0	20	35	35	100·0	38	kreisrund
62	45	—	—	—	33	38	86·8	41	elliptisch schief
121	49	24	49·0	—	32	39	82·1	40	r. elliptisch quer
132	54	27	50·0	—	33	38	86·8	42	elliptisch sehr schief
99	41	—	—	—	33	34	97·1	36	kreisrund
63	46	23	50·0	21	32	38	84·2	40	elliptisch quer
Summe	42	41	40	33	43	43	43	44	
El-Kubanieh Nord. ♂									
189	49	23	46·9	24	33	39	84·6	41	elliptisch quer
13	47	22	46·8	23	35	38	92·1	42	annähernd quadratisch

Schädel von El-Kubanieh, nach dem Längenbreitenindex geordnet.

Nr.	Nasen-			Interorbital-Br.	Augenhöhleneingang				
	H.	Br.	Index		H.	Br.	Index	Größter Durchmesser	Umrißform
186	53	24	45·3	—	34	42	81·0	45	rhombisch stark schief
144	49	25	51·0	26	32	38	84·2	39	elliptisch quer
141	53	25	47·2	25	35	36	97·2	42	elliptisch sehr schief
146	54	27	50·0	22	31	40	77·5	41	elliptisch quer, nieder
142	53	25	47·2	25	30	39	76·9	41	elliptisch quer, nieder
174	47	26	55·3	22	31	37	83·8	39	elliptisch sehr schief
140	46	23	50·0	22	31	37	83·8	38	elliptisch quer
160	51	25	49·0	—	31	37	83·8	39	rhombisch schief
154	45	23	51·1	24	30	37	81·1	38	elliptisch annähernd quer
184	45	24	53·3	28	31	37	83·8	39	elliptisch quer
172	55	25	45·5	21	34	43	79·1	44	elliptisch quer
139	51	24	45·1	22	35	42	83·3	44	elliptisch annähernd quer
151	52	26	50·0	25	32	40	80·0	43	elliptisch quer
190	52	27	51·9	—	—	—	—	—	oval schief
6	53	—	—	22	—	—	—	—	
165	52	24	46·2	27	34	40	85·0	42	elliptisch wenig schief
161	52	24	46·2	22	33	39	84·6	42	elliptisch schief
5	45	23	51·1	22	34	37	91·9	42	annähernd rechteckig schief
145	48	23	47·9	22	33	34	97·1	38	nahezu kreisrund
166	55	26	47·3	23	34	39	87·2	44	rhombisch schief
168	45	26	57·8	22	31	40	77·5	40	elliptisch schief
182	51	24	47·1	24	33	39	84·6	43	rhombisch schief
181	47	27	57·5	26	31	38	81·6	39	elliptisch quer
150	51	29	56·9	26	34	39	87·2	43	elliptisch quer
152	49	27	55·1	22	31	37	83·8	40	elliptisch schief
169	46	26	56·5	22	32	39	82·1	42	elliptisch quer
3	49	23	46·9	23	28	35	80·0	37	elliptisch quer
14	49	25	51·0	21	33	38	86·8	44	annähernd rechteckig nahezu quer
155	50	27	54·0	23	33	38	86·8	41	rhombisch schief
177	53	23	43·4	23	34	36	94·4	40	annähernd kreisrund
185	50	27	54·0	25	28	36	77·8	38	elliptisch quer, sehr nieder
183	51	24	47·1	22	34	38	89·5	40	rhombisch schief
137	47	24	51·1	24	31	36	86·1	r. 41 l. 38	r. elliptisch quer, l. rhombisch schief
148	51	25	49·0	26	32	37	86·5	41	elliptisch annähernd quer
167	48	22	45·8	21	32	36	88·9	40	elliptisch annähernd quer
Summe	37	36	36	34	35	35	35	35	

El-Kubanieh Nord.

♀

Nr.	Nasen-			Interorbital-Br.	Augenhöhleneingang				
	H.	Br.	Index		H.	Br.	Index	Größter Durchmesser	Umrißform
180	48	25	52·1	—	36	39	92·3	41	annähernd kreisrund
187	51	22	43·1	—	34	37	91·9	40	annähernd quadratisch
153	47	28	59·6	24	32	36	88·9	37	kurzelliptisch quer
12	52	24	46·2	21	34	38	89·5	41	elliptisch schief
158	49	27	55·1	26	33	36	91·7	39	annähernd rechteckig quer
138	51	23	45·1	23	36	40	90·0	44	elliptisch sehr schief
147	—	—	—	24	35	37	94·6	43	rhombisch sehr schief
149	54	24	44·4	24	35	40	87·5	42	elliptisch quer
175	48	24	50·0	22	31	38	81·6	41	rhombisch schief
188	46	21	45·7	—	34	37	91·9	39	annähernd kreisrund
156	49	22	44·9	23	32	39	82·1	42	elliptisch schief
170	50	25	50·0	26	33	38	86·8	41	elliptisch quer
143	46	23	50·0	22	32	37	86·5	40	elliptisch quer
164	—	—	—	—	33	38	86·8	43	rhombisch sehr schief
163	45	25	55·6	19	31	37	83·8	39	elliptisch quer
162	43	22	51·2	18	32	38	84·2	39	elliptisch quer
159	45	21	46·7	23	33	36	91·7	40	annähernd rechteckig quer
191	—	—	—	—	32	34	94·1	38	rhombisch sehr schief
157	44	21	47·7	21	32	36	88·9	38	rhombisch schief
176	43	21	48·8	21	32	37	86·5	40	rhombisch schief
Summe	17	17	17	15	20	20	20	20	

Tabelle VIII.

Nr.	Oberkiefer-Alveolarbogen			Orbito-Alveolar-H.	Verh. zur Br. des Alveolar-Bogens	Harter Gaumen			Gesichtswinkel	Prognathie	
	L.	Br.	Index			L.	Br.	Index		nasale	alveolare
El-Kubanieh Süd. ♂											
1	55	—	—	50	—	46	—	—	89	90	85
2	60	64	106·7	36	56·3	51	35	68·6	74	75	67
10	56	64	114·3	45	70·3	48	38	79·2	85	84	85
15	52	61	117·3	41	67·2	45	37	82·2	83	86	70
17	55	63	114·6	43	68·3	48	39	81·3	85	88	78
18	56	66	117·9	44	66·7	51	38	74·5	85	87	79
19	55	63	114·6	46	73·0	—	34	—	92	95	85
21	55	68	123·6	46	67·7	46	38	82·6	87	89	85
25	51	58	113·7	35	60·3	46	33	71·7	79	81	75
28	52	60	115·4	40	66·7	44	37	84·1	84	87	78
29	57	—	—	46	—	48	35	72·9	89	91	86
31	—	—	—	40	—	—	—	—	84	85	75
33	61	62	101·6	42	67·7	52	36	69·2	81	85	76
37	—	66	—	43	65·2	47	39	83·0	—	85	—
42	55	56	101·8	44	78·6	46	—	—	84	85	77
48	56	60	107·1	39	65·0	50	38	76·0	85	88	75
49	54	67	124·1	42	62·7	45	40	88·9	83	87	73
51	52	—	—	41	—	46	—	—	85	88	72
52	52	65	125·0	43	66·2	48	38	79·2	85	87	76
53	57	63	110·5	45	71·4	50	38	76·0	85	88	75
55	—	—	—	—	—	—	—	—	88	87	87
57	55	61	110·9	46	75·4	47	37	78·7	82	85	73
60	—	68	—	44	64·7	—	47	—	89	92	76
64	58	—	—	44	—	51	—	—	81	86	72
65	51	52	102·0	38	73·1	43	31	72·1	82	83	85
68	—	—	—	42	—	—	—	—	—	89	—
69	55	59	107·3	42	71·2	49	34	69·4	84	88	74
70	48	55	114·6	43	78·2	42	33	78·6	85	85	81
72	53	—	—	44	—	46	—	—	85	86	78
73	52	67	128·9	43	64·2	44	44	100·0	88	89	87
77	52	62	119·2	37	59·7	43	38	88·4	82	85	75
78	57	69	121·1	54	78·3	48	44	91·7	85	84	78
79	—	—	—	46	—	—	—	—	84	85	82
82	50	60	120·0	39	65·0	41	35	85·4	86	89	78
83	52	61	117·3	44	72·1	43	35	81·4	90	91	89
84	58	57	98·3	40	70·2	51	32	62·8	82	86	72
85	55	64	116·4	47	73·4	45	38	84·4	81	83	77
89	55	59	107·3	46	78·0	47	37	78·7	85	84	85
92	52	58	111·5	39	67·2	43	34	79·1	85	88	74
94	57	62	108·8	41	66·1	45	37	82·2	87	86	85
96	55	61	110·9	35	57·4	45	38	84·4	78	79	76
98	55	—	—	43	—	50	—	—	—	—	—
101	50	60	120·0	43	71·7	43	35	81·4	89	90	83
102	50	62	124·0	37	59·7	—	36	—	88	90	76
103	53	61	115·1	42	68·9	44	36	81·8	90	92	78
104	59	67	113·6	42	62·7	47	43	91·5	—	84	—
105	57	65	114·0	38	58·5	49	40	81·6	85	85	85
106	53	61	115·1	43	70·5	48	37	77·1	87	90	74
108	55	64	103·6	41	64·1	42	39	92·9	86	89	74
111	56	62	110·7	45	72·6	48	33	68·8	84	88	70
112	56	63	112·5	46	73·0	48	37	77·1	86	90	70
113	—	66	—	40	60·6	—	40	—	—	—	—
115	57	63	110·5	43	68·3	47	37	78·3	85	88	80
117a	55	60	109·1	40	66·7	47	35	74·5	—	89	—
119	55	62	112·7	42	67·7	47	37	78·7	86	89	75
120	55	66	120·0	41	62·1	47	34	72·3	84	86	75
122	57	64	112·3	45	70·3	48	36	75·0	83	84	78
124	57	63	110·5	46	73·0	46	42	91·3	84	84	78
125	58	69	119·0	42	60·9	50	45	90·0	85	87	81
128	58	70	120·7	47	67·1	51	46	90·2	85	87	79
130	57	62	108·8	41	66·1	50	36	72·0	81	83	72
133	56	69	123·2	46	66·7	47	43	91·5	92	93	88
134	58	67	115·5	41	61·2	48	40	83·3	82	84	78
135	56	65	116·1	45	69·2	—	36	—	89	92	78
136	58	67	115·5	40	59·7	52	40	76·9	81	82	77
Summe	58	55	52	64	55	56	55	50	59	62	59
El-Kubanieh Süd. ♀											
4	53	—	—	37	—	—	—	—	83	85	79
8	55	66	120·0	42	63·6	46	38	82·6	85	87	78
11	56	61	108·9	42	68·9	46	35	76·1	85	89	72
20	50	59	118·0	39	66·1	46	34	73·9	83	86	75
26	51	60	117·7	42	70·0	—	36	—	89	90	79
27	52	63	121·2	44	71·0	45	37	82·2	86	88	80
30	50	57	114·0	40	70·2	45	34	75·6	86	85	83
32	53	58	109·4	41	70·7	44	36	81·8	85	88	76
38	57	67	117·5	43	64·2	48	40	83·3	79	84	66
39	53	61	115·1	40	65·6	46	36	78·3	82	85	69
40	48	61	127·1	42	68·9	46	35	76·1	84	87	73
47	48	58	120·8	39	67·2	44	34	77·3	83	85	79

Nr.	Oberkiefer-Alveolarbogen L.	Oberkiefer-Alveolarbogen Br.	Oberkiefer-Alveolarbogen Index	Orbito-Alveolar-H.	Verh. zur Br. des Alveolar-Bogens	Harter Gaumen L.	Harter Gaumen Br.	Harter Gaumen Index	Gesichtswinkel	Prognathie nasale	Prognathie alveolare
50	52	61	117·3	l 38·0 r 36·5	62·3 59·8	46	38	82·6	78	82	64
56	51	64	125·5	43	67·2	—	39	—	85	87	81
58	53	61	115·1	47	77·1	45	38	84·4	89	90	87
61	51	57	111·8	41	71·9	42	34	81·0	87	90	80
62	—	—	—	36	—	—	—	—	84	86	73
63	50	63	126·0	37	58·7	42	38	90·5	84	88	77
67	—	59	—	39	66·1	—	36	—	78	80	71
74	—	—	—	42	—	—	35	—	84	86	78
76	45	59	131·1	29	49·1	40	32	80·0	87	88	82
86	51	58	113·7	39	67·2	46	35	76·1	80	83	68
87	49	60	122·5	37	61·7	41	35	85·4	84	87	76
90	46	—	—	38	—	40	—	—	86	87	79
91	51	—	—	—	—	44	—	—	88	89	86
93	54	—	—	42	—	46	—	—	86	84	75
95	54	62	114·8	43	69·4	46	39	84·8	84	85	80
97	50	—	—	—	—	44	30	68·2	—	—	—
99	45	—	—	32	—	38	—	—	86	86	77
107	—	60	—	36	60·0	—	39	—	—	—	—
110	50	56	112·0	40	71·4	40	35	87·5	87	88	83
114	52	62	119·2	32	51·6	43	37	86·1	89	92	73
116	53	64	120·8	39	60·9	47	39	83·0	85	87	78
117	56	64	114·3	38	59·4	46	41	89·1	84	86	75
118	53	63	118·9	36	57·1	45	39	86·8	81	85	68
121	54	60	111·1	40	66·7	44	34	77·3	86	90	77
123	53	64	120·8	—	—	45	39	86·7	—	—	—
126	—	58	—	35	60·3	—	37	—	—	96	—
129	55	65	118·2	42	65·6	46	39	84·8	86	89	76
131	53	59	111·3	44	74·6	46	36	78·3	81	83	78
132	58	68	117·2	37	54·4	49	40	81·6	81	83	78
Summe	36	33	30	38	32	33	33	29	37	38	37
El-Kubanieh Nord. ♂											
3	54	65	120·4	47	72·3	49	39	79·6	87	88	85
5	48	58	120·8	40	69·0	42	38	90·5	86	88	84
13	—	—	—	36	—	—	—	—	—	87	—
14	55	63	114·6	38	60·3	—	41	—	86	87	84
137	54	58	107·4	38	65·5	49	37	75·5	83	85	77
139	56	62	110·7	45	72·6	48	33	68·8	85	87	78
140	50	58	116·0	42	72·4	43	34	79·1	85	87	76
141	—	—	—	—	—	—	—	—	—	85	—
144	54	64	118·5	43	67·2	44	36	81·8	87	88	81
145	51	60	117·7	41	68·3	45	34	75·6	83	85	72
146	51	—	—	48	—	43	35	81·4	87	88	83
148	54	59	109·3	42	71·2	48	37	77·1	82	83	75
150	57	66	115·8	44	66·7	49	38	77·6	82	84	74
151	—	—	—	43	—	—	—	—	88	87	87
152	53	59	111·3	38	64·4	46	36	78·3	84	88	68
154	51	61	119·6	39	63·9	45	35	77·8	83	86	74
155	—	—	—	40	—	—	—	—	84	87	76
160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	89	—
161	51	60	117·7	41	68·3	42	34	81·0	93	94	86
165	52	—	—	44	—	43	35	81·4	90	91	92
167	53	60	113·2	45	75·0	43	37	86·1	86	88	83
168	56	64	114·3	42	65·6	46	37	80·4	84	84	84
169	54	61	113·0	44	72·1	46	39	84·8	88	88	87
172	53	61	115·1	46	75·4	44	37	84·1	87	85	92
174	—	—	—	—	—	—	—	—	—	87	—
177	52	63	121·2	44	69·8	47	37	78·7	85	84	81
181	59	61	103·4	40	65·6	52	38	73·1	83	85	77
182	58	62	106·9	44	71·0	52	40	76·9	81	85	70
183	54	57	105·6	39	68·4	48	32	66·7	83	84	80
184	—	—	—	37	—	—	—	—	—	83	—
185	—	—	—	44	—	49	35	71·4	—	86	—
186	55	62	112·7	42	67·7	—	37	—	96	97	92
189	60	—	—	42	—	50	—	—	83	85	80
190	54	—	—	—	—	48	39	81·3	87	89	79
Summe	26	22	22	30	22	25	26	24	28	34	28
El-Kubanieh Nord. ♀											
12	51	—	—	39	—	44	34	77·3	81	82	80
138	52	60	115·4	44	73·3	43	37	86·1	90	92	88
143	53	60	113·2	40	66·7	47	37	78·7	79	82	70
149	53	62	117·0	—	—	46	35	76·1	84	85	79
153	51	58	113·7	42	72·4	43	36	83·7	89	91	82
156	45	—	—	41	—	40	—	—	87	90	73
157	44	56	127·3	34	60·7	38	30	79·0	90	91	87
158	—	—	—	—	—	—	—	—	81	83	78
159	47	56	119·2	41	73·2	39	33	84·6	90	93	83
162	48	58	120·8	38	65·5	40	32	80·0	85	88	75
163	52	61	117·3	41	67·2	—	37	—	85	89	76
170	56	64	114·3	40	62·5	48	38	79·2	86	89	74
175	51	61	109·8	41	68·9	44	35	79·6	86	89	85
180	—	—	—	40	—	50	—	—	—	84	—
187	—	—	—	42	—	47	36	76·6	96	96	89
188	55	—	—	38	—	47	38	80·9	79	80	78
Summe	13	10	12	14	9	14	13	12	15	16	15

Erklärung der Abbildungen.

Tafel I. Männlicher Schädel vom Typus I, Nr. 42 aus El-Kubanieh Süd; so wie die drei folgenden in sechs verschiedenen Ansichten in $^2/_5$ der natürlichen Größe photographisch aufgenommen.

Tafel II. Männlicher Schädel vom Typus I, Nr. 5 aus El-Kubanieh Nord.

Tafel III. Männlicher Schädel vom Typus II, Nr. 2 aus El-Kubanieh Süd.

Tafel IV. Männlicher Schädel vom Typus II, Nr. 146 aus El-Kubanieh Nord.

Tafel V. Männlicher Schädel Nr. 31 aus El-Kubanieh Süd, mit zahlreichen postmortalen herdweisen Abschilferungen der oberflächlichsten Knochenschichte, besonders angehäuft in dem Gebiete zwischen den hinteren Abschnitten der oberen und unteren Schläfenlinie. Linke Seite.

Schädel Nr. 26 aus El-Kubanieh Süd, mit zahlreichen postmortalen flachen Erosionen am Schädeldache, in verschiedenen Stufen der Ausbildung und teilweise zusammengeflossen. Ansicht von oben.

Tafel VI. Schädel Nr. 63 aus El-Kubanieh Süd, mit zahlreichen größeren und kleineren Grübchen und Löchelchen an der linken Schädelfläche im Bereiche des Scheitelbeins und der Schläfenschuppe.

Stück der linken Seitenwand des Schädels Nr. 39 aus El-Kubanieh Süd, mit zwei Löchelchen im vorderen unteren Winkel des Scheitelbeins und einem in der Schläfenschuppe. Zweimal vergrößert.

Stück der rechten Seitenwand des Schädels Nr. 42 aus El-Kubanieh Süd, mit einem einzelnen durchgreifenden Löchelchen in der Schläfenfläche des Stirnbeins, oberhalb eines großen Os epiptericum. Von verschiedenen Seiten her ziehen feine Furchen zu dem Rande des Löchelchens hin. $1^1/_2$ der natürlichen Größe.

Die sämtlichen photographischen Bilder hat Herr Regierungsrat J. Szombathy aufgenommen und mir freundlichst zur Verfügung gestellt. Ich bin ihm dafür zu großem Dank verpflichtet.





Typus I, Nr. 42.



Typus I, Nr. 5.



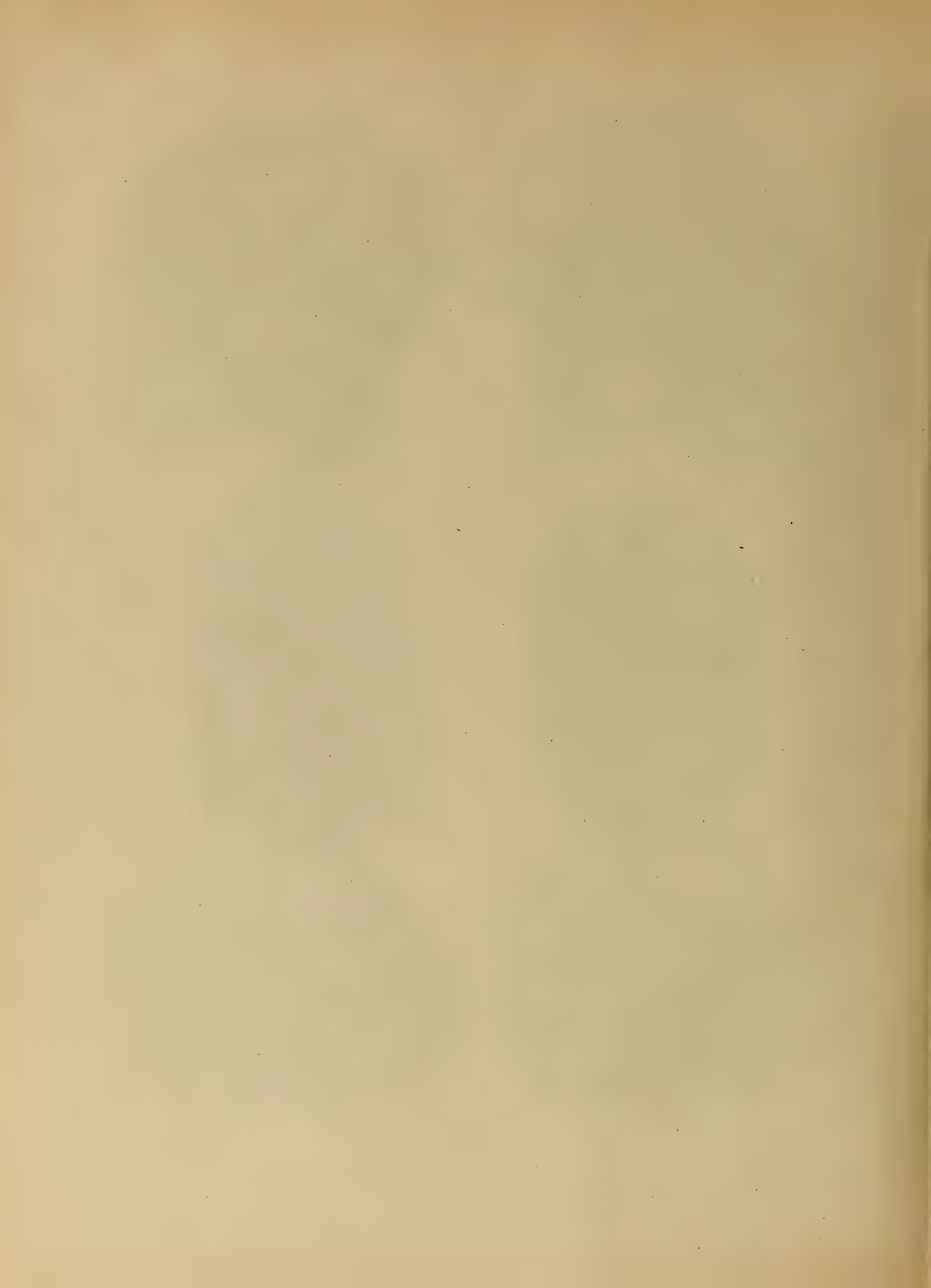




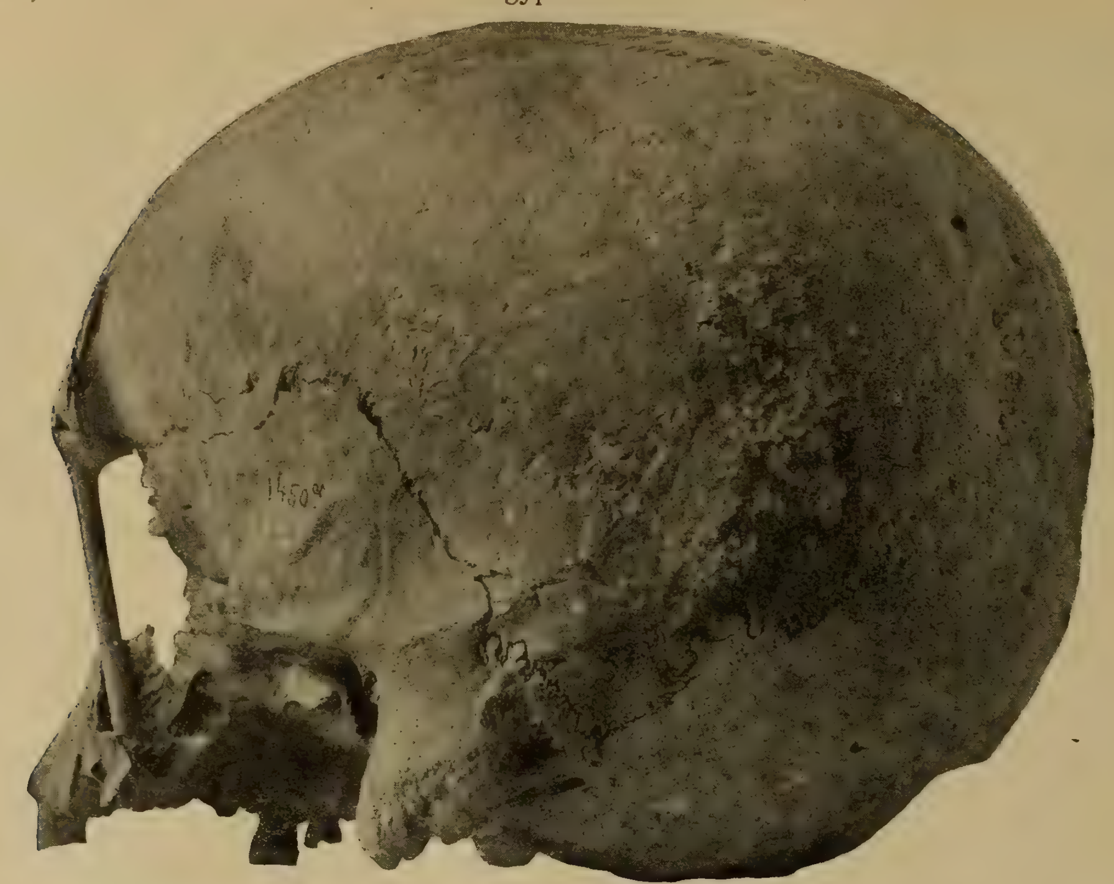
Typus II, Nr. 2.



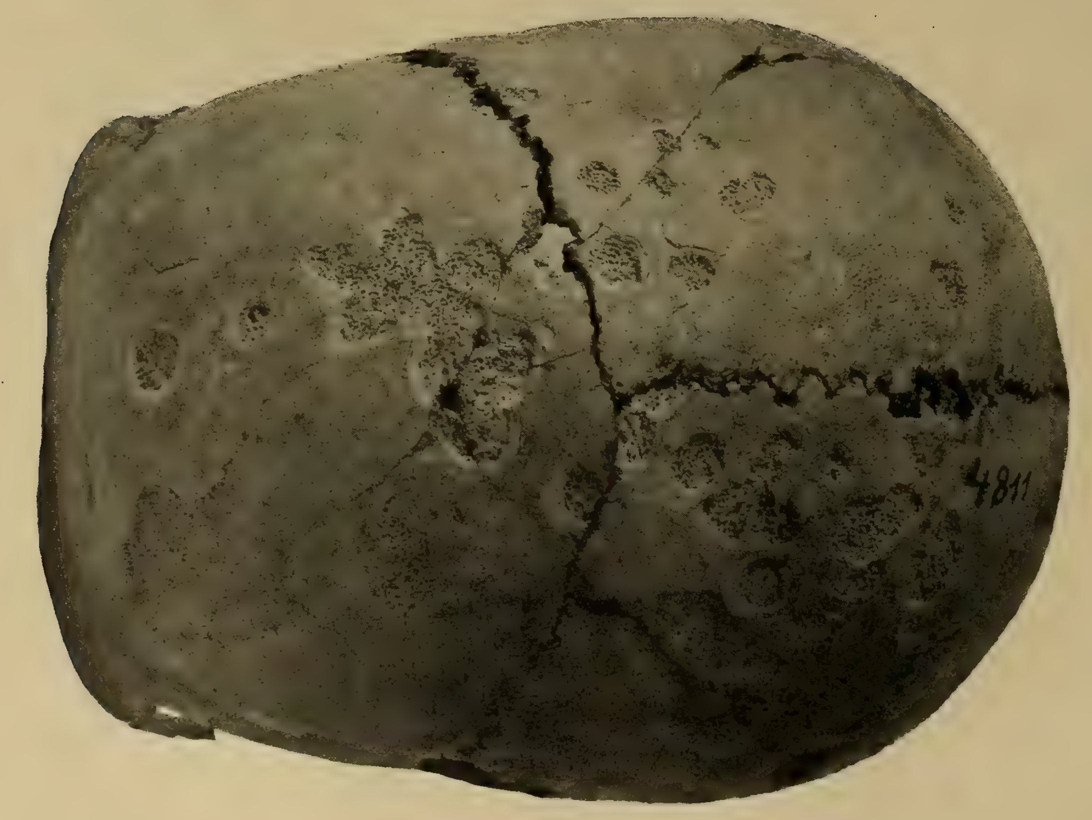
Typus II, Nr. 146.







Nr. 31.



Nr. 26.



Nr. 63.



Nr. 39.



Nr. 42.



UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE GEZEITENERSCHEINUNGEN IN MITTEL- UND RANDMEEREN, IN BUCHTEN UND KANÄLEN

IV. TEIL: DER EINFLUSS DER REIBUNG AUF DIE GEZEITEN DER RANDMEERE

V. TEIL: DIE HYDRODYNAMISCHE THEORIE DER GEZEITEN UND GEZEITENSTRÖMUNGEN IM ENGLISCHEN KANAL UND IN DEM SÜDWESTLICHEN TEILE DER NORDSEE

VON

DR. ALBERT DEFANT

MIT 15 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 12. DEZEMBER 1918

IV. Teil. Der Einfluß der Reibung auf die Gezeiten in Randmeeren.

1. Die Reibungskonstante.

Im I. Teil wurden die durch die Anziehungskräfte von Sonne und Mond, beziehungsweise durch die äußere Gezeitenbewegung in Rand- und Nebenmeeren und in Kanälen bedingten Schwingungsvorgänge besprochen, ohne Berücksichtigung eines stets vorhandenen Reibungseinflusses. Die Schwingungsbewegungen bei den Gezeiten sind gegenüber der zumeist geringen Tiefe der Nebenmeere lange Wellen. Die Bewegungen des Wassers gleichen hiebei mehr einem Rollen desselben hin und her als Ganzes und würden nicht so sehr durch innere Reibung als durch die Reibung des Wassers am Boden erlöschen, die lediglich bedingt ist durch die Beschaffenheit des Meeresbodens.[1] Bei Berücksichtigung der Reibung zwischen dem festen Erdboden und der Flüssigkeit tritt zur gewöhnlichen Differentialgleichung für die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen noch ein Glied von der Form $-\beta \frac{\partial \xi}{\partial x}$ hinzu. Hierin bedeutet β die Konstante der Grenzflächenreibung und die gedachte Reibung wird als proportional der Geschwindigkeit der Bewegung genommen. Über die Größe der Reibungskonstanten wissen wir nicht viel; über ihre Größenordnung wollen wir uns im folgenden orientieren. Die Reibung besitzt natürlich auch einen Einfluß auf die Eigenperiode der abgeschlossenen Wassermasse, indem die Periode der freien Schwingungen durch dieselbe vergrößert wird; gleichzeitig nimmt die Amplitude

[1] Siehe Wien, Hydrodynamik, p. 290; Defant, Theoretische Überlegungen über Seespiegelschwankungen in Seen und Meeresbuchten, Ann. d. Hydr. u. marit. Meteorol. 1916, p. 30.

der Schwingungen allmählich ab und dieses Abklingen steht, wie die Theorie[1] lehrt, in direkter Beziehung zur Reibungskonstante. Ist A die Amplitude der Schwingungen am Beginn der Bewegung, so ist sie nach der Zeit t $A_1 = Ae^{-\frac{\beta t}{2}}$. Aus dem Abklingen der Amplituden kann man das logarithmische Dekrement λ berechnen und daraus die Reibungskonstante β ermitteln; denn $\lambda = \frac{\beta T}{2}$. Auf diese Art gelingt vielleicht die Bestimmung der Größenordnung von β.

Auch aus der Periode der Schwingungen kann β bei Kenntnis der Periode der Schwingungen ohne Reibungseinfluß ermittelt werden; für einen rechteckigen Kanal konstanter Breite und Tiefe gibt die Theorie der freien Schwingungen bei Reibung als Periode der Schwingungen

$$T_r = \frac{2l}{\sqrt{gh - \frac{\beta^2 l^2}{4\pi^2}}} \quad \text{oder} \quad T_r = T\left(1 + \frac{\beta^2 T^2}{32\pi^2} + \dots\right)$$

wenn man mit $T = \frac{2l}{\sqrt{gh}}$ die Eigenperiode des Kanals ohne Reibung bezeichnet. Bei Kenntnis von T_r und T kann β berechnet werden.

Über die Dämpfung schwingender Bewegungen größerer Wassermassen wissen wir sehr wenig. In der Seichesliteratur hat nur Emden[2] auf die Wichtigkeit der Kenntnis der Größe des logarithmischen Dekrementes hingewiesen und angegeben, daß für die einknotige Schwingung des Starnberger Sees das logarithmische Dekrement zu ungefähr 0·03 ermittelt wurde. Ich habe aus den Limnographenaufzeichnungen des Jahres 1903 in Riva am Gardasee aus zehn Bestimmungen für die einknotige Schwingung im Mittel $\lambda = 0\cdot023$ erhalten; die Einzelwerte schwankten zwischen 0·0348 und 0·0083;[3] die Periode der einknotigen Schwingung des Gardasees beträgt 42 Minuten. Aus diesen Werten ergibt sich für den Gardasee (mittlere Tiefe des Sees 136 *m*) die Reibungskonstante (m/sec^{-1}) im Mittel $\beta = 1\cdot83\ 10^{-5}$ mit den Extremen $\beta = 0\cdot66\ 10^{-5}$ und $\beta = 2\cdot76\ 10^{-5}$. Aus Seicheskurven in Desenzano (am südlichen seichten Ende des Gardasees) folgt andrerseits β zu etwa $0\cdot5\ 10^{-5}$; für den Starnberger See erhält man ganz ähnliche Werte.

Auch aus den folgenden Untersuchungen wird sich zeigen, daß wir nicht weit von der Wirklichkeit abstehen, wenn man bei einer mittleren Wassertiefe von 50 bis etwa 100 *m* die Reibungskonstante β innerhalb der Grenzen $0\cdot5\ 10^{-5}$ und $1\cdot0\ 10^{-5}$ m/sec^{-1} annimmt. $1\ 10^{-5}$ dürfte der Wahrheit wohl am nächsten kommen.

Die Kleinheit der Reibungskonstante läßt erwarten, daß durch den Einfluß der Reibung die Amplituden- und Phasenverteilung im schwingenden Wasserbecken nicht wesentlich von den bereits im I. Teil besprochenen Verhältnissen ohne Reibung abweichen wird und daß sich im allgemeinen dieser Einfluß in Form eines Korrektionsgliedes wird angeben lassen. Im folgenden wollen wir die Verteilung der Hubhöhen und Flutlinien in Kanälen konstanter Breite und Tiefe bei Reibungseinfluß untersuchen, deren Wassermassen entweder an beiden Enden oder auch nur an einem Ende mit dem offenen Meere mit bestimmter Gezeitenbewegung in Verbindung stehen. Die selbständigen Gezeiten bei Reibungseinfluß in beiderseits geschlossenen Kanälen hat bereits Rolf Witting[4] eingehend besprochen; wir verweisen hier auf die zitierte Untersuchung. Größeres Interesse bietet das Mitschwingen der Wassermassen in Kanälen bei Reibungseinfluß, da in diesen Fällen es meistens zu größeren horizontalen Verschiebungen der Wassermassen kommt und dann der Reibungseinfluß, wie bereits erwähnt, deutlicher hervortritt.

---

[1] Siehe zum Beispiel Rolf Witting, Tidvattnen i östersjön och finska viken, Helsingfors 1911, p. 40.

[2] R. Emden, Der Energiegehalt der Seiches, Jahrbuch der St. Gallischen Naturw. Ges. 1905.

[3] A. Defant, l. c.

[4] Rolf Witting, l. c.

2. Das Mitschwingen der Wassermassen in einseitig geschlossenen Kanälen konstanter Breite und Tiefe bei Reibungseinfluß.

Der Kanal habe die Länge l und die überall gleiche Tiefe h; bei $x=0$ sei er geschlossen, bei $x=l$ münde er in einem offenen Meere mit einer Gezeitenbewegung $\eta = Ze^{i\sigma t}$. Die Differentialgleichungen für die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen besitzen bei Berücksichtigung der äußeren Reibung die Form:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\beta \frac{\partial \xi}{\partial t} + c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad \text{und} \quad \eta = -h \frac{\partial \xi}{\partial x}, \tag{1}$$

worin $c^2 = gh$ ist. Die allgemeine Lösung derselben hat die Form $\xi = Ae^{i\sigma t + i\lambda x}$. Die Größe λ muß die Bedingung erfüllen

$$\lambda = \pm \frac{\sigma}{c} \sqrt{1 - i\frac{\beta}{\sigma}}\,.$$

Setzt man $b = \frac{\beta}{\sigma} = \frac{\beta T}{2\pi}$, weiters $i\sqrt{1-bi} = m + ni$, wodurch

$$m = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{1+b^2} - 1)} \quad \text{und} \quad n = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{1+b^2} + 1)}$$

wird und bezeichnet das Verhältnis der Periode der freien Schwingung $\frac{2l}{\sqrt{gh}}$ zur Periode oder erzwungenen Schwingung $T = \frac{2\pi}{\sigma}$ mit $\nu = \frac{l\sigma}{c\pi}$, so wird $\lambda = \pm \frac{\nu\pi}{l}(n - mi)$. Bei den Grenzbedingungen, daß für alle Zeiten bei $x=0$ $\xi = 0$ und bei $x = l$ $\eta = Ze^{i\sigma t}$ ist, erhält man für die periodischen horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen die Gleichungen:

$$\eta = Z \frac{\mathrm{Cos}\, \frac{\nu\pi}{l}(m+ni)\,x}{\mathrm{Cos}\, \frac{\nu\pi}{l}(m+ni)}\, e^{i\sigma t} \quad \text{und} \quad \xi = -Z \frac{l}{\nu\pi h} \frac{\mathrm{Sin}\, \frac{\nu\pi}{l}(m+ni)\,x}{(m+ni)\, \mathrm{Cos}\, \nu\pi(m+ni)}\, e^{i\sigma t}\,. \tag{2}$$

Von Interesse ist nur der reelle Teil dieser Ausdrücke, die bei Benützung der für Hyperbelfunktionen gültigen Transformationsformeln[1] folgende Formen besitzen:

$$\begin{aligned} \eta &= Z \frac{\sqrt{\mathrm{Sin}^2 \nu\pi m y + \cos^2 \nu\pi n y}}{\sqrt{\mathrm{Sin}^2 \nu\pi m + \cos^2 \nu\pi n}} \cos\{\sigma t - (\gamma - \gamma_y)\} \quad \text{und} \\ \xi &= \frac{Zl}{\nu\pi h u} \frac{\sqrt{\mathrm{Sin}^2 \nu\pi m y + \sin^2 \nu\pi n y}}{\sqrt{\mathrm{Sin}^2 \nu\pi m + \cos^2 n\pi n}} \cos\{\sigma t - (\gamma + \varepsilon - \pi - \rho_y)\}. \end{aligned} \tag{3}$$

Hierin bedeuten

$$\eta = \frac{x}{l}, \quad \mathrm{tg}\,\varepsilon = \frac{n}{m}, \quad u = \sqrt{m^2 + n^2}\,, \quad \mathrm{tg}\,\gamma = \mathrm{tg}\,\nu\pi m\; \mathrm{tg}\,\nu\pi n, \quad \mathrm{tg}\,\gamma_y = \mathrm{tg}\,\nu\pi m y\; \mathrm{tg}\,\nu\pi n y \tag{4}$$

$$\text{und} \quad \mathrm{tg}\,\rho_y = \frac{\mathrm{tg}\,\nu\pi n y}{\mathrm{tg}\,\nu\pi m y}.$$

Infolge des Einflusses der Grenzflächenreibung verliert die zur Entwicklung gelangende Schwingung den Charakter einer stehenden Welle; die Phase der Schwingung an einer Stelle

---

[1] Siehe: Jahnke und Emde, Funktionstafeln, Teubner 1909, p. 11.

im Kanal wird abhängig von der Lage des entsprechenden Querschnittes im Kanal. Je kleiner die Reibung ist, desto mehr nähert sich aber die Form der sich ausbildenden fortschreitenden Welle der ohne Reibungseinfluß vorhandenen stehenden Welle; denn für $m = 0$ gehen die Gleichungen 3 in jene über, die im Falle reibungsloser Bewegung des Wassers gelten (siehe I. Teil, Abschnitt 4, *A*, p. 29).

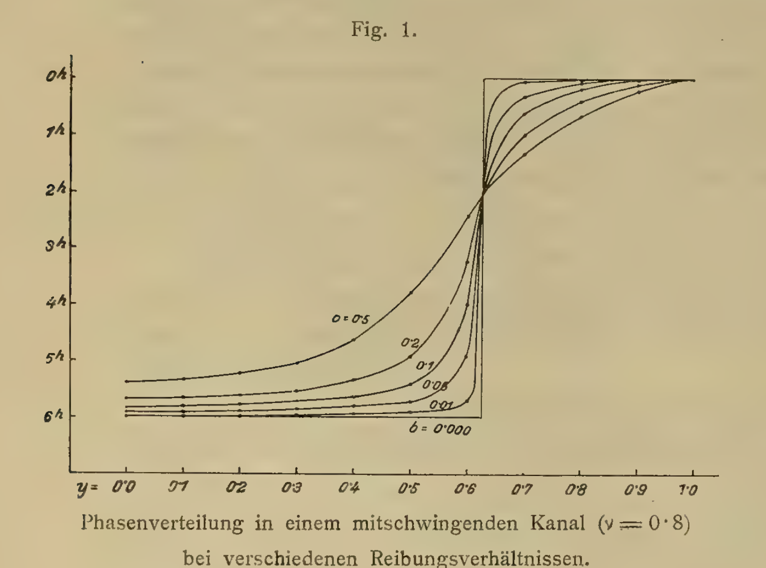
Um sich ein Bild vom Einfluß der Reibung überhaupt, beziehungsweise der Größe der Reibungskonstante zu machen, habe ich ein Beispiel ausführlich berechnet. Die Dimensionen des überall gleich breiten und tiefen Kanals seien derart, daß das Verhältnis der Periode der Eigenschwingung zur Periode der äußeren Gezeitenbewegung $\nu = 0 \cdot 8$ ist; für die Reibungskonstante β wurden der Reihe nach folgende Zahlenwerte $\beta = 0 \cdot 145\, 10^{-5}$, $0 \cdot 725\, 10^{-5}$, $1 \cdot 45\, 10^{-5}$, $2 \cdot 90\, 10^{-5}$ und $7 \cdot 25\, 10^{-5}$ genommen. Mittels dieser wurden nach Gleichungen 3 sowohl die horizontalen wie vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen für zehn äquidistante Querschnitte des Kanals berechnet.

Den verschiedenen Werten der Reibungskonstante entsprechen folgende Zahlenwerte der benötigten Konstanten *b*, *m* und *n*.

$\beta . 10^5$	$= 0 \cdot 145$	$0 \cdot 725$	$1 \cdot 45$	$2 \cdot 90$	$7 \cdot 25$
b	$= 0 \cdot 01$	$0 \cdot 05$	$0 \cdot 10$	$0 \cdot 20$	$0 \cdot 50$
m	$= 0 \cdot 0050$	$0 \cdot 0250$	$0 \cdot 0500$	$0 \cdot 0980$	$0 \cdot 2429$
n	$= 1 \cdot 00001$	$1 \cdot 00032$	$1 \cdot 00125$	$1 \cdot 0048$	$1 \cdot 0291$

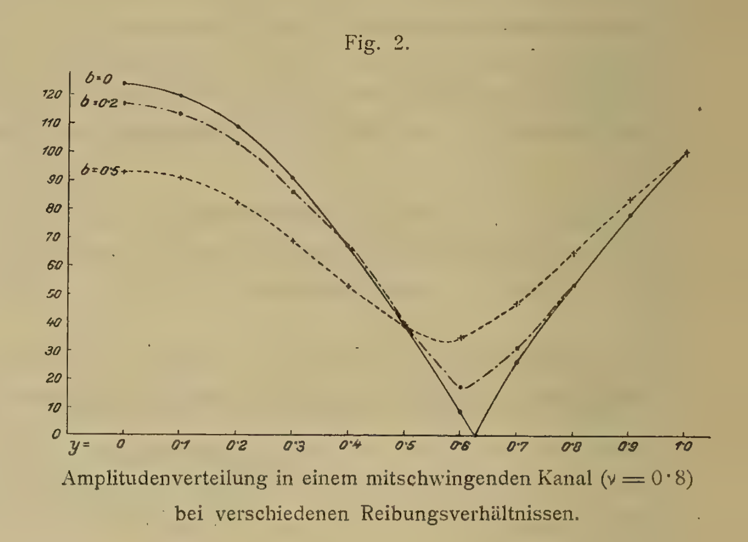
Von besonderem Interesse ist die Verteilung der Phase und Amplitude der vertikalen Wasserverschiebungen im Kanal; sie steht in folgender Tabelle 1. Die Verteilung der ersteren wurde gleich

Fig. 1.



Phasenverteilung in einem mitschwingenden Kanal ($\nu = 0 \cdot 8$) bei verschiedenen Reibungsverhältnissen.

Fig. 2.



Amplitudenverteilung in einem mitschwingenden Kanal ($\nu = 0 \cdot 8$) bei verschiedenen Reibungsverhältnissen.

in Stunden angegeben, und zwar unter der Voraussetzung, daß die Periode der äußeren Gezeitenbewegung 12 Stunden beträgt und die Phase vor der Mündung 0^h ist. Die Amplitude ist durch den Faktor a angegeben, mit dem man die gegebene Amplitude der äußeren Gezeitenbewegung vor der Mündung multiplizieren muß, um die an der betrachteten Stelle herrschenden zu erhalten.

Ohne Reibungseinfluß tritt im Kanal bei $y = 0 \cdot 625$ eine Knotenlinie auf, der äußere Schwingungsast hat die Phase 0^h, der innere die Phase 6^h; bei Reibung verschwindet vor allem die Knotenlinie; an keiner Stelle sinkt die Amplitude der vertikalen Verschiebung auf Null herab; jedoch verbleibt an Stelle der Knotenlinie stets ein Minimum der Amplitude vorhanden. Die Phasenänderung in der Nähe der Stelle, an der ohne Reibung eine Knotenlinie liegt, ist außerordentlich rasch, und zwar um so rascher, je kleiner die Reibungskonstante. Springt doch bei Fehlen jeglicher Reibung an dieser Stelle die Phase von 0^h auf 6^h. Die Tabelle und noch deutlicher die graphische Darstellung derselben in Fig. 1 zeigt, wie bei

Tabelle 1.

Phasen- und Amplitudenverteilung der vertikalen Wasserverschiebungen im Kanal $\nu = 0{\cdot}8$ bei verschiedenen Werten der Reibungskonstante.

y	Phase in Stunden						Amplitude aZ			
	ohne Reibung	mit Reibung					ohne Reibung	mit Reibung		
	$b=0$	$b=0{\cdot}01$	$b=0{\cdot}05$	$b=0{\cdot}10$	$b=0{\cdot}20$	$b=0{\cdot}50$	$b=0$	$b=0{\cdot}10$	$b=0{\cdot}2$	$b=0{\cdot}5$
Ende des Kanals 0	6^h	$5{\cdot}98^h$	$5{\cdot}91^h$	$5{\cdot}82^h$	$5{\cdot}67^h$	$5{\cdot}38^h$	1·238	1·228	1·172	0·936
0·1	6	5·98	5·91	5·82	5·66	5·36	1·198	1·181	1·136	0·906
0·2	6	5·98	5·90	5·80	5·62	5·25	1·082	1·068	1·028	0·822
0·3	6	5·98	5·88	5·75	5·54	5·04	0·902	0·889	0·856	0·690
0·4	6	5·97	5·84	5·65	5·37	4·65	0·663	0·655	0·646	0·531
0·5	6	5·95	5·73	5·45	4·97	3·84	0·382	0·382	0·384	0·387
0·6	6	5·76	4·87	4·13	3·36	2·48	0·078	0·118	0·182	0·351
0·7	0^h	0·06	0·34	0·64	1·00	1·33	0·231	0·256	0·306	0·468
0·8	0	0·02	0·12	0·23	0·41	0·70	0·527	0·535	0·560	0·653
0·9	0	0·01	0·04	0·07	0·16	0·31	0·787	0·791	0·802	0·840
Münd. ins offene Meer 1·0	0	0·—	0·—	0·—	0·—	0·—	1·000	1·000	1·000	1·000

Phasenverteilung der horizontalen Wasserverschiebung im Kanal.

y	Phase in Stunden					
	ohne Reibung	mit Reibung				
	$b=0$	$b=0{\cdot}01$	$b=0{\cdot}05$	$b=0{\cdot}10$	$b=0{\cdot}20$	$b=0{\cdot}50$
0	$12{\cdot}0^h$	$11{\cdot}98^h$	$11{\cdot}91^h$	$11{\cdot}82^h$	$11{\cdot}67^h$	$11{\cdot}38^h$
0·1	12·0	11·98	11·91	11·82	11·66	11·30
0·2	12·0	11·98	11·91	11·81	11·65	11·33
0·3	12·0	11·98	11·91	11·80	11·63	11·28
0·4	12·0	11·98	11·90	11·79	11 60	11·20
0·5	12·0	11·98	11·89	11·77	11·56	11·09
0·6	12·0	11·97	11·87	11·73	11·50	10·94
0·7	12·0	11·97	11·85	11·69	11·42	10·75
0·8	12·0	11·97	11·82	11·64	11·30	10·47
0·9	12·0	11·96	11·78	11·55	11·13	10·09
1·0	12·0	11·94	11·71	11·40	10·85	9·56

stärkerem Reibungseinfluß auf beiden Seiten dieser Stelle immer weitere Teile des Kanals in die Einflußsphäre dieser raschen Phasenänderung einbezogen werden. Bei $b = 0 \cdot 5$, was bereits einer großen Grenzflächenreibung entspricht, finden wir im Kanal einen den ganzen Kanal umfassenden allmählichen Übergang von der Phase 0^h an der Mündung bis zur Phase etwa $5 \cdot 5^h$ im innersten Teil des Kanals; in allen Fällen bedingt die Reibung eine kleine Phasenverfrühung am inneren Ende des Kanals; sie ist um so größer, je größer die Reibung.

Abgesehen von der bereits erwähnten Tatsache, daß die Knotenlinie bei Reibung verloren geht, besitzt die Reibung auch einen Einfluß auf die Amplitudenverteilung; für die Zahlenwerte der Reibung $b = 0 \cdot 01$ und $0 \cdot 05$ ist der Unterschied gegenüber den Werten bei Fehlen jeglicher Reibung so gering, daß er in ihrer graphischen Darstellung (Fig. 2) nicht zum Ausdruck kommt. Bei größerer Reibung wird die Amplitude im äußeren Kanalteil (vor dem Minimum der Amplitude) gegenüber den Werten ohne Reibung vergrößert, im inneren Kanalteil, wie zu erwarten war, verkleinert; es sieht der Reibungseinfluß demnach in diesem Falle so aus, als ob durch die Reibung im äußeren Kanalteil eine Stauung des Wassers eintritt, wodurch hier die Wassererhebung vergrößert, im inneren Kanalteil hingegen vermindert wird.

Tabelle 1 enthält auch eine Übersicht über die Phasenverteilung der horizontalen Wasserverschiebungen im Kanal; bei Fehlen der Reibung besitzt die periodische horizontale Verschiebung im ganzen Kanal die Phase 0^h (12^h); bei Reibung verfrüht sich die Phase, und zwar um so mehr, je größer die Reibung ist und je näher der betrachtete Querschnitt der Mündung des Kanals liegt. Dies ist ein unerwartetes Resultat, da die innersten Kanalteile weniger gestört erscheinen als die äußeren. Übrigens erreicht der Unterschied gegenüber der Phasenverteilung bei Fehlen der Reibung erst größere Beträge bei $b > 0 \cdot 01$, was schon einer größeren Grenzflächenreibung entspricht.

Das hier ausführlich berechnete Beispiel gestattet durch den Vergleich mit einem tatsächlich in der Natur vorkommenden Falle, in dem ν nahe bei $0 \cdot 8$ liegt, eine Beurteilung der Größenordnung der Grenzflächenreibung. Der Suezbucht, die wir im II. Teile behandelt haben, kommt ein ν von der Größe $0 \cdot 55$ zu; sie ist in seiner ganzen Länge überaus seicht (mittlere Tiefe 36 *m*) und es war von vornherein zu erwarten, daß die Reibung vielleicht einen größeren Einfluß besitzt. Dem scheint aber nicht so zu sein. Die Häfen knapp nördlich der Torbänke, wo theoretisch bei Fehlen der Reibung die Knotenlinie der Schwingung liegt, zeigen allerdings eine Verfrühung der Phase, jedoch ist diese klein. Vergleichen wir die tatsächlich vorkommende Verteilung in der Suezbucht mit der theoretischen Phasenverteilung bei verschiedenen Reibungskonstanten, so gelangt man zum Schlusse, daß im Suezkanal die Größe b höchstens $0 \cdot 05$ ist, bestimmt aber kleiner als $0 \cdot 1$ ist. Dies besagt, daß die Konstante der Grenzflächenreibung zwischen etwa $1 \, 10^{-5}$ und $0 \cdot 5 \, 10^{-5}$ *m*/sec.$^{-1}$ liegt, was der früher abgeleiteten Größenordnung von β entspricht.

3. Das Mitschwingen in beiderseits offenen Kanälen bei Reibungseinfluß.

Für folgende Untersuchungen ist es noch von Interesse, das Mitschwingen von Kanälen, die zwei offene Meere mit bestimmter Gezeitenbewegung verbinden, bei Reibungseinfluß zu untersuchen. Wir haben in Abschnitt 7 des I. Teiles gesehen, daß bei Fehlen jeglicher Reibung sich das Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals darstellen läßt als die Superposition der zwei stehenden Wellen, die man erhält, wenn einmal der Kanal mit dem einen Meere mitschwingt, während das zweite als gezeitenfrei angenommen wird, das anderemal der Kanal mit dem zweiten Meere mitschwingt, während jetzt das erste gezeitenfrei ist. Auch im Falle von vorhandener Grenzflächenreibung zerfällt das Rechnungsergebnis in zwei Teile, die wir in der eben angegebenen Weise deuten können. Es genügt also, den einen Fall zu diskutieren, also den Fall zu behandeln: Ein Kanal konstanter Tiefe h und der Länge l münde bei $x = 0$ in ein offenes, gezeitenfreies Meer, hingegen bei $x = l$ in ein offenes Meer mit einer Gezeitenbewegung $\eta = Z e^{i\sigma t}$; gesucht werden die periodischen Bewegungen der Wassermassen des Kanals, die unter der Einwirkung der äußeren Gezeitenbewegung hervorgerufen werden.

Die Differentialgleichungen und die allgemeine Lösung sind dieselben wie im früher behandelten Fall; letztere lauten:

$$
\begin{aligned}
\xi &= A_1 e^{\frac{\nu\pi}{l}(m+ni)x+i\sigma t} + A_2 e^{-\frac{\nu\pi}{l}(m+ni)x+i\sigma t} \\
\eta &= -h\frac{\nu\pi}{l}(m+ni)\left[A_1 e^{\frac{\nu\pi}{l}(m+ni)x+i\sigma t} - A_2 e^{-\frac{\nu\pi}{l}(m+ni)x+i\sigma t}\right].
\end{aligned}
\tag{5}
$$

Die Konstanten A_1 und A_2 bestimmen sich aus den bekannten Grenzbedingungen. Aus diesen folgt sodann:

$$
\eta = Z\frac{\mathfrak{Sin}\,\nu\pi\,(m+ni)y}{\mathfrak{Sin}\,\nu\pi\,(m+ni)}\,e^{i\sigma t} \quad \text{und} \quad \xi = -\frac{Zl}{h\nu\pi\,(m+ni)}\,\frac{\mathfrak{Cos}\,\nu\pi(m+ni)y}{\mathfrak{Sin}\,\nu\pi\,(m+ni)}\,e^{i\sigma t}.
\tag{6}
$$

Von Interesse sind wieder bloß die reellen Teile dieser Gleichungen, die bei Benützung der für Hyperbelfunktionen gültigen Transformationsgleichungen folgende Gestalt annehmen:

$$
\begin{aligned}
\eta &= Z\,\frac{\sqrt{\mathfrak{Sin}^2\,\nu\pi m y+\sin^2\,\nu\pi n y}}{\sqrt{\mathfrak{Sin}^2\,\nu\pi m+\sin^2\,\nu\pi n}}\cos\{\sigma t-(\rho-\rho_y)\} \quad \text{und} \\
\xi &= \frac{Zl}{h\nu\pi u}\,\frac{\sqrt{\mathfrak{Sin}^2\,\nu\pi m y+\cos^2\,\nu\pi n y}}{\sqrt{\mathfrak{Sin}^2\,\nu\pi m+\sin^2\,\nu\pi n}}\cos\{\sigma t-(\rho+\varepsilon-\gamma_y-\pi)\}.
\end{aligned}
\tag{7}
$$

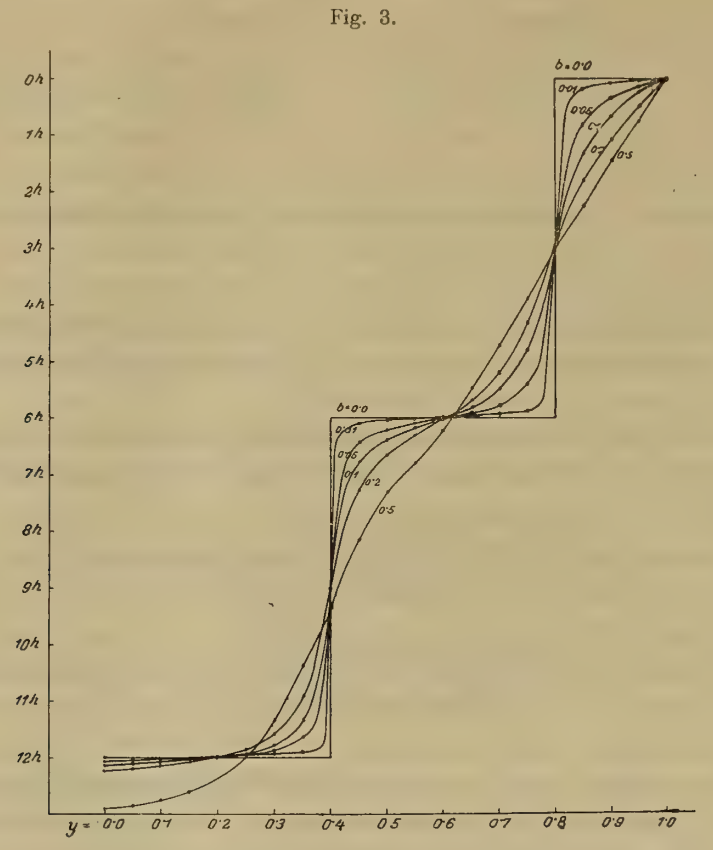
Die Bedeutung von y, ε, u, ρ, ρ_y, γ und γ_y ist dieselbe wie in den Gleichungen 4.

Auch in diesem Falle geht bei Berücksichtigung des Reibungseinflusses der Charakter der im Kanal zur Ausbildung gelangenden Welle als stehende Welle verloren. Die Phase der periodischen horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen wird abhängig von der Lage der Teilchen im Kanal. Da m gegenüber n stets eine kleine Zahl ist, gewinnen die Glieder, die m enthalten, gegenüber den Gliedern mit n nur an jenen Stellen einige Bedeutung, wo letztere selbst klein sind; das ist dort der Fall, wo im Falle des Fehlens von Reibungseinflüssen Knotenlinien verstanden sind. An diesen Stellen wird der Einfluß der Grenzflächenreibung am deutlichsten in die Erscheinung treten. Dieser Einfluß ist sowohl je nach der Größe der Reibungskonstante als auch je nach den Dimensionen des Kanals, was sich in der Größe ν ausdrückt, verschieden; um einen Überblick über diese Einflüsse der Grenzflächenreibung in Verbindungskanälen zu erhalten, werden wieder an einem konkreten Beispiel für eine Reihe verschieden großer Reibungskonstanten die periodischen horizontalen und vertikalen Verlagerungen der Wasserteilchen zahlenmäßig berechnet. Die Dimensionen des Kanals wurden in Anbetracht eines später zu behandelnden tatsächlich vorkommenden Falles so gewählt, daß $\nu = 2\cdot5$ wird.

Tabelle 2 enthält Phase und Amplitude der vertikalen Wasserverschiebung im Kanal unter der Annahme, daß an der Mündung $x = l$ $(y = 1)$ das offene Meer eine Gezeitenbewegung mit einer Periode von 12 Stunden, mit der Phase 0^h und mit einer Amplitude $1\cdot000$ aufweist. Ohne Reibung würden bei $y = 0\cdot8$ und $y = 0\cdot4$ Knotenlinien zur Ausbildung gelangen, während eine dritte den Grenzbedingungen gemäß stets bei $y = 0$ vorhanden ist. Diese letzte Knotenlinie bleibt natürlich auch im Falle von Reibungseinflüssen erhalten, da der Grenzbedingung gemäß das offene Meer bei $y = 0$ $(x = 0)$ gezeitenfrei ist; bei den anderen zwei Knotenlinien aber erfolgt bei Berücksichtigung der Reibung keine sprungweise Änderung der Phase um 6 Stunden, während die Amplitude auf Null herabsinkt, sondern ein rascher, aber stetiger Übergang der Phase von einem Wert auf den anderen, während die Amplitude hier auf ein Minimum herabgeht. Am deutlichsten zeigen sich diese Verhältnisse in der graphischen Darstellung der Phasenverteilung im mitschwingenden Kanal, die Fig. 3 wiedergibt.

Die Phase der vertikalen Wasserbewegung wird im innersten Teile des Kanals, das heißt bei der Mündung in das gezeitenfreie Meer nur wenig beeinflußt; nur bei $b = 0\cdot5$ wird der Unterschied

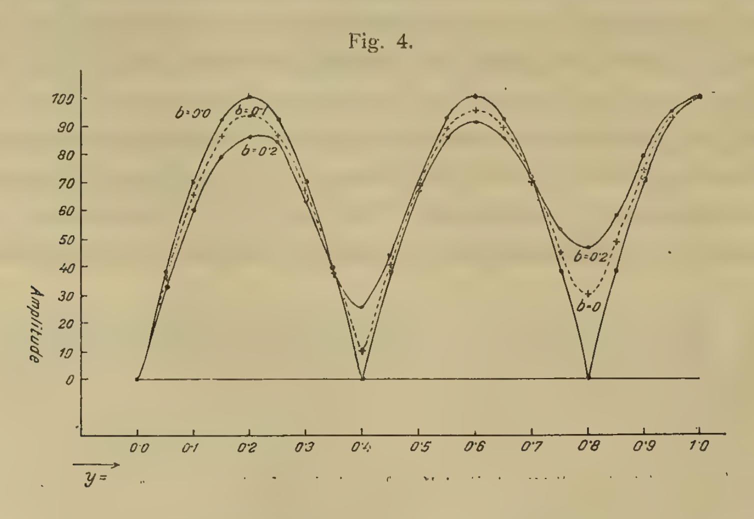
Fig. 3.



Phasenverteilung in einem mitschwingenden, beiderseits offenen Kanal ($\nu = 2\cdot5$) bei verschiedenen Reibungsverhältnissen. (Mitschwingungsstelle $y = 1\cdot0$, Phase 0^h.)

etwas größer; dieser Wert von b entspricht aber bereits einer sehr großen Grenzflächenreibung. Auffallender Weise äußert sich der Einfluß der Reibung in der Nähe der zwei Knotenlinien nicht in der-

Fig. 4.



Amplitudenverteilung in einem Kanal ($\nu = 2\cdot5$) bei verschiedenen Reibungsverhältnissen. (Mitschwingungsstelle $y = 1$, Amplitude 100.)

selben Stärke; bei der inneren Knotenlinie bleibt der rasche Übergang der Phase stets auf eine kleinere Kanalstrecke beschränkt als bei der äußeren Knotenlinie, die sich in der Nähe der Mündung des Kanals in das offene Meer, von dem es die Impulse zum Mitschwingen erhält, befindet. Auch die

Tabelle 2.

Phasen- und Amplitudenverteilung der vertikalen Wasserverschiebungen in einem beiderseits offenen Kanal $\nu = 2·5$ bei Reibung.

(Mitschwingen bei $y = 1$.)

y	Phase in Stunden						Amplitude (Relativwerte)			
	ohne Reibung	mit Reibung					ohne Reibung	mit Reibung		
	$b = 0$	$b = 0·01$	$b = 0·05$	$b = 0·10$	$b = 0·20$	$b = 0·50$	$b = 0$	$b = 0·05$	$b = 0·10$	$b = 0·20$
0·00	—	0·01^h	0·05^h	0·10^h	0·22^h	0·89^h	0·000	0·000	0·000	0·000
0·05	0^h	0·01	0·05	0·10	0·21	0·87	0·383	0·372	0·360	0·325
0·10	0	0·01	0·04	0·08	0·18	0·78	0·707	0·687	0·658	0·601
0·15	0	0·00	0·02	0·05	0·11	0·62	0·923	0·897	0·860	0·785
0·20	0	0·00	0·00	0·00	0·03	0·39	1·000	0·983	0·932	0·854
0·25	0	0·00	11·96	11·93	11·88	0·02	0·923	0·899	0·861	0·836
0·30	0	11·99	11·89	11·78	11·60	11·46	0·707	0·689	0·663	0·622
0·35	0	11·92	11·68	11·39	10·93	10·39	0·383	0·379	0·374	0·386
0·40	—	9·00	8·98	8·98	8·97	9·39	0·000	0·077	0·098	0·252
0·45	6^h	6·09	6·40	6·76	7·30	8·16	0·383	0·382	0·396	0·434
0·50	6	6·04	6·18	6·37	6·69	7·32	0·707	0·694	0·685	0·676
0·55	6	6·02	6·08	6·16	6·32	6·82	0·923	0·904	0·882	0·853
0·60	6	6·00	6·00	6·01	6·02	6·21	1·000	0·989	0·954	0·916
0·65	6	5·98	5·90	5·82	5·66	5·52	0·923	0·906	0·888	0·865
0·80	6	5·95	5·74	5·50	5·13	4·74	0·707	0·699	0·701	0·718
0·75	6	5·87	5·35	4·80	4·27	3·89	0·383	0·396	0·442	0·536
0·80	—	3·00	2·98	2·96	2·96	3·03	0·000	0·153	0·297	0·462
0·85	0^h	0·15	0·71	1·25	1·78	2·23	0·383	0·408	0·481	0·582
0·90	0	0·07	0·33	0·62	1·02	1·47	0·707	0·710	0·741	0·790
0·95	0	0·03	0·14	0·28	0·48	0·74	0·923	0·917	0·930	0·945
1·00	0	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	1·000	1·000	1·000	1·000

Amplitudenverteilung wird im äußeren Kanalteil in höherem Maße modifiziert, als im inneren Teil desselben. Das zweite Minimum der Amplitude bleibt stets tiefer als das erste. Für die zwei extremen Fälle $b = 0·10$ und $b = 0·20$ enthält Fig. 4 die Amplitudenverteilung längs des Kanals in graphischer Darstellung.

Tabelle 3 enthält die Phasenverteilung der horizontalen Phasenverschiebung im Kanal; auch hier erfolgt bei Reibungseinfluß bei den Knotenlinien der reibungslosen Bewegung ein rascher aber stetiger Übergang der Phase um etwa 6 Stunden. Je größer die Reibung, desto größere Teile des Kanals werden in diese Übergangszone einbezogen, am anderen Ende des Kanals, dort, wo dieser in das gezeitenfreie Meer mündet, tritt im Vergleich zur Phase bei reibungsloser Bewegung des Wassers eine kleinere, praktisch nahezu unbedeutende Verfrühung ein. Sowohl aus den Zahlenwerten der horizontalen wie der vertikalen Verschiebungen folgt demnach, daß am andern Ende des Kanals, an dem kein Mitschwingen erfolgt, die Wasserbewegung nur wenig von jener, die ohne Berücksichtigung der Reibung gefunden wurde, abweicht.

Tabelle 3.

Phasenverteilung der horizontalen Wasserverschiebung.

y	Phase in Stunden					
	ohne Reibung	mit Reibung				
	$b=0$	$b=0\cdot01$	$b=0\cdot05$	$b=0\cdot10$	$b=0\cdot20$	$b=0\cdot50$
0·00	0^h	$11\cdot99^h$	$11\cdot96^h$	$11\cdot91^h$	$11\cdot81^h$	$11\cdot98^h$
0·05	0	11·99	11·95	11·89	11·78	11·89
0·10	0	11·98	11·91	11·83	11·66	11·60
0·15	0	11·96	11·75	11·64	11·31	10·42
0·20	—	8·99	8·95	8·86	8·75	8·74
0·25	6^h	6·03	6·18	6·35	6·62	7·40
0·30	6	6·02	6·06	6·13	6·23	6·79
0·35	6	6·00	6·01	6·02	6·12	6·33
0·40	6	5·99	5·95	5·91	5·80	5·96
0·45	6	5·98	5·88	5·77	5·54	5·29
0·50	6	5·95	5·77	5·54	5·12	4·40
0·55	6	5·89	5·40	5·00	4·35	3·62
0·60	—	2·99	2·93	2·89	2·71	2·66
0·65	0^h	0·11	0·52	0·93	1·37	1·80
0·70	0	0·04	0·21	0·41	0·66	1·04
0·75	0	0·01	0·07	0·13	0·20	0·36
0·80	0	11·99	11·96	11·90	11·79	11·66
0·85	0	11·96	11·82	11·65	11·34	10·93
0·90	0	11·92	11·62	11·28	10·75	10·14
0·95	0	11·82	11·15	10·53	9·87	9·33
1·00	—	8·99	8·93	8·87	8·86	8·52

Aus diesem Beispiele ersieht man ferner, daß bei Verbindungskanälen geringer Tiefe die Grenzflächenreibung immerhin an gewissen Stellen im Kanal eine ganz deutliche Beeinflussung der Hafenzeiten bedingen kann. In Fällen, in denen $\nu > 2$ ist, scheint sich besonders in der Umgebung des ersten Minimums der Amplitude der Einfluß der Reibung deutlicher in einer über einen größeren Kanalteil sich erstreckenden raschen, aber stetigen Änderung der Hafenzeiten kundzutun. Die innersten Kanalteile, das sind jene, die näher am gezeitenfreien Meere liegen, werden von den durch Reibungseinfluß mehr gestörten äußeren Kanalteilen nur wenig in Mitleidenschaft gezogen.

4. Das Mitschwingen in Kanälen wechselnder Breite und Tiefe bei Reibungseinfluß.

In der Natur haben wir es nirgends mit Kanälen konstanten Querschnitts zu tun; die bisherigen Untersuchungen, die sich ausschließlich mit solchen befaßten, dienen eine Orientierung zu gewinnen über die Art und Weise, wie sich in den zur Ausbildung gelangenden Schwingungen die Reibungseinflüsse geltend machen. Wollen wir in praktischen Fällen die Grenzflächenreibung in Rechnung

ziehen, so können wir in den allerseltensten Fällen die entwickelten Beziehungen benützen, da Tiefe und Querschnittsfläche der Kanäle sich von Querschnitt zu Querschnitt ändern. Wir müssen nach einer praktischen Methode suchen, die uns ähnlich wie im Falle ohne Reibung gestattet, Hubhöhe und Hafenzeit sowie die Art der periodischen horizontalen Wasserverschiebungen von Querschnitt zu Querschnitt schrittweise zu berechnen. Daß eine solche Lösung der allgemeinen Differentialgleichungen vorhanden ist, läßt sich leicht einsehen; es fragt sich bloß, sie in eine solche Form zu bringen, daß eine gleichzeitige Befriedigung der fix gegebenen Grenzbedingungen leicht möglich ist, ohne die Rechnung allzusehr zu belasten. Vielleicht gelingt es wie früher, eine der Grenzbedingungen sogleich bei Beginn der Rechnung zu befriedigen; das wäre ein nicht zu unterschätzender Vorzug der Methode.

Die im folgenden gegebene Berechnungsmethode ist nicht die einzige, die angegeben werden kann; ein großer Vorzug gegenüber anderen ist ihre Einfachheit und die Tatsache, daß sie deutlich erkennen läßt, daß dem Reibungsglied in den Differentialgleichungen bei kleiner Reibungskonstante bloß die Bedeutung eines Korrektionsgliedes gegenüber dem Falle bei nicht berücksichtigter Reibung zukommt. Ihrer praktischen Benützbarkeit steht auch in Fällen komplizierter Gestaltverhältnisse der Kanäle nichts im Wege. Die Methode ist folgende:

Hat ein Kanal an der Stelle x die Breite $b(x)$ und die Querschnittsfläche $S(x)$, so lauten die Differentialgleichungen für die horizontale und für die vertikale Verlagerung der Wasserteilchen im Kanal:

$$8) \qquad \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\beta \frac{\partial \xi}{\partial t} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \text{und} \quad \eta = -\frac{1}{b(x)} \frac{\partial}{\partial x} \{ S(x) \xi \}.$$

Im Reibungsglied $\beta \frac{\partial \xi}{\partial x}$ kann die Reibungskonstante β von x abhängig sein, da die Grenzflächenreibung sicherlich einerseits von der Beschaffenheit des Meerbusens, andererseits aber auch von der Tiefe des Meeres abhängig ist. Wir nehmen nun eine Lösung des Gleichungspaares 8 in folgender Form an:

$$9) \qquad \begin{aligned} \xi &= \xi_1(x) \cos(\sigma t + \varepsilon) + \xi_2(x) \sin(\sigma t + \varepsilon), \\ \eta &= \eta_1(x) \cos(\sigma t + \varepsilon) + \eta_2(x) \sin(\sigma t + \varepsilon); \end{aligned}$$

$\sigma = \frac{2\pi}{T}$ und ε sind Konstante, ξ_1, ξ_2 und η_1, η_2 Funktionen von x; diese müssen, um den Gleichungen 8 zu genügen, folgende Bedingungsgleichungen erfüllen:

$$-\sigma^2 \xi_1 + \beta \sigma \xi_2 + g \frac{d\eta_1}{dx} = 0, \qquad \eta_1 = -\frac{1}{b(x)} \frac{d}{dx} \{ S(x) \xi_1 \},$$

$$-\sigma^2 \xi_2 - \beta \sigma \xi_1 + g \frac{d\eta_2}{dx} = 0, \qquad \eta = -\frac{1}{b(x)} \frac{d}{dx} \{ S(x) \xi_2 \}.$$

In den ersten Gleichungen ersetzen wir nun den Differentialquotienten durch den Differenzenquotienten, in den zweiten führen wir die Integration aus und erhalten folgende Grundgleichungen:

$$10) \qquad \begin{aligned} \Delta \eta_1 &= \frac{4\pi^2}{gT^2} \xi_1 \Delta x - \frac{4\pi^2}{gT^2} b \xi_2 \Delta x, \\ \Delta \eta_2 &= \frac{4\pi^2}{gT^2} \xi_2 \Delta x + \frac{4\pi^2}{gT^2} b \xi_1 \Delta x, \end{aligned}$$

$$\xi_1 = -\frac{1}{S(x)} \int_0^x \eta_1 \, b(x) \, dx,$$

11)

$$\xi_2 = -\frac{1}{S(x)} \int_0^x \eta_2 \, b(x) \, dx.$$

Mittels dieser Gleichungen gelingt nun die schrittweise Berechnung von ξ_1, ξ_2, η_1 und η_2, die zusammengefaßt nach Gleichungen 9 die Lösung der Differentialgleichungen 8 geben. Die Gleichung für $\Delta\eta_1$ ist ähnlich jener, die im Falle reibungsloser Bewegung des Wassers von R. v. Sterneck zuerst abgeleitet wurde (siehe I. Teil, p. 11); hier erscheint auf der rechten Seite noch ein von der Reibungskonstante abhängiges Glied, das, wenn erstere klein ist, ebenfalls klein ist und nur dort einige Bedeutung erlangen kann, wo ξ_2 ein Maximum erreicht; das ist aber nach den Gleichungen 9 an jenen Stellen der Fall, an denen eine Knotenlinie der reibungslosen Bewegung vorhanden ist.

a) Mitschwingen eines einseitig geschlossenen Kanals.

Die eine der Grenzbedingungen lautete: Für $x = 0$ muß $\xi = 0$, also auch ξ_1 und $\xi_2 = 0$ sein. Diese können wir sogleich erfüllen; die Größe ε halten wir zunächst noch frei. Wir beginnen die Rechnung am geschlossenen Ende des Kanals (Querschnitt 0) und nehmen willkürlich ein bestimmtes η_1 und ein bestimmtes η_2 an. Da wir uns η_2 durch Reibungseinflüsse bedingt denken können, wird es vorteilhaft sein, η_2 gegenüber η_1 klein zu wählen; das Verhältnis $\frac{\eta_2}{\eta_1}$ möge also eine fix gegebene kleine Zahl sein; für gleiche Werte dieses Verhältnisses bleibt die folgende schrittweise Berechnung gleich; denn, wie man sich leicht überzeugen kann, fällt ein Proportionalitätsfaktor, mit dem ξ_1 und ξ_2, η_1 und η_2 multipliziert werden, aus den Gleichungen stets heraus; es kommt also zunächst nur auf die Verhältnisse $\xi_2 : \xi_1$ und $\eta_2 : \eta_1$ an.

Mittels der Gleichungen 11 können wir nun, genau so wie im Falle reibungsloser Bewegung des Wassers, die Wassermengen q_1 und q_2 bestimmen, die durch den Querschnitt 1 hindurchgeschoben werden müssen, damit sie die Hubhöhen $2\eta_1$ und $2\eta_2$ im innersten Abschnitt des Kanals erzeugen. Durch Division mit dem Flächeninhalt des Querschnittes 1 erhält man dann die Größe der horizontalen Verlagerung der Wasserteilchen an dieser Stelle, das sind die Größen ξ_1 und ξ_2. Bei Kenntnis dieser geben aber dann die Gleichungen 10 die Änderung der Hubhöhe vom nullten zum ersten Querschnitt und wenn man diese an den angenommenen Hubhöhen η_1 und η_2 des inneren Endes des Kanals anbringt, die Hubhöhen am ersten Querschnitt.

So kann für jeden Meeresabschnitt die Größe der horizontalen Verlagerung der Wasserteilchen und die Änderung der Hubhöhe innerhalb desselben berechnet werden. Das Gleichungssystem gibt also die Verteilung der vertikalen und horizontalen Verlagerung der Wasserteilchen sowohl der (ξ_1, η_1) Bewegung, als auch der (ξ_2, η_2) Bewegung längs des ganzen Kanals. Für den letzten Querschnitt, welcher die Mündung des einseitig offenen Kanals in das offene Meer darstellt, erhält man durch die schrittweise Berechnung ein bestimmtes $\bar{\eta}_1$ und ein bestimmtes $\bar{\eta}_2$. An diesem Ende des Kanals erfolgt nun das Mitschwingen der Wassermassen desselben mit dem freien Ozean. Die Gezeitenbewegung in diesem sei $\bar{\eta} \cos(\sigma t + \omega)$.

Die durch $\bar{\eta}_1$ und $\bar{\eta}_2$ gegebene Bewegung am letzten Querschnitt muß nun — das ist die zweite Grenzbedingung — der Gezeitenbewegung des freien Ozeans entsprechen. Zur Befriedigung dieser Grenzbedingung stehen noch zwei willkürlich zu wählende Konstante frei, nämlich erstens ein willkürlicher Proportionalitätsfaktor p, mit dem wir die η_1 und η_2 multiplizieren können und zweitens die Phase ε der cos- und der sin-Welle.

Diese zwei noch freien Konstanten müssen wir derart wählen, daß für alle Zeiten die Gleichung

$$p\eta_1 \cos(\sigma t+\varepsilon)+p\eta_2 \sin(\sigma t+\varepsilon) = \bar{\eta} \cos(\sigma t+\omega) \text{ erfüllt ist.}$$

Zwei bestimmte Werte von p und ε gibt es immer; es gelingt also auf diesem Wege auch die andere Grenzbedingung bei anfänglich willkürlicher Wahl des Verhältnisses $\frac{\eta_2}{\eta_1}$ ohne Schwierigkeiten zu erfüllen. Mit der Größe p muß die berechnete Verteilung der ξ_1 und ξ_2 sowie der η_1 und η_2 multipliziert werden; diese und die nun fixierte Phase ε geben dann nach Gleichungen 9 für jeden Querschnitt im Kanal die Hubhöhe und die Hafenzeit der Mitschwingungszeit.

b) Mitschwingen beiderseits offener Kanäle.

Die Methode ist ganz ähnlich dem gerade behandelten Fall, nur mit dem Unterschied, daß für jede der einzelnen Schwingungskomponenten die Grenzbedingungen andere sind. Es gelingt auch hier ohne Schwierigkeiten die Grenzbedingungen jedes Schwingungsastes nachträglich zu erfüllen. Ein Beispiel für die Ermittlung der horizontalen und vertikalen Verschiebungen in einem beiderseits offenen Kanal, der in zwei gezeitenführende Meere mündet, wird später an einem reellen Fall durchgeführt werden.

V. Teil. Die hydrodynamische Theorie der Gezeiten und Gezeitenströmungen im Englischen Kanal und in dem südwestlichen Teile der Nordsee.

1. Die Beobachtungstatsachen.

Die Wichtigkeit der Kenntnis der Höhe des jeweiligen Wasserstandes in den in der Überschrift bezeichneten Gebieten für die Schiffahrt läßt es erklärlich erscheinen, daß in den Gezeitentafeln dieser Meeresteile von so vielen Häfen sowohl Hafenzeit als Hubhöhe bekannt gegeben wird; kaum in einem anderen Meeresteil dürften die Gezeitenerscheinungen besser erforscht und für die praktischen Zwecke der Schiffahrt ausgenützt worden sein als wie im Englischen Kanal und in den südwestlichen Teilen der Nordsee (Hoofden). Die Gezeiten dieser Gebiete entbehren der Einfachheit, wie wir sie zumeist am offenen Gestade eines Meeres beobachten können; ihre manchenorts große Verschiedenheit an nahegelegenen Küstenplätzen, die Eigentümlichkeiten der mit ihnen verbundenen Strömungen, deren genaue Kenntnis dem Seefahrer häufig von außerordentlicher Wichtigkeit ist, bedingten eine genaue Aufnahme der Beobachtungstatsachen für viele Küstenorte und erweckten zugleich in theoretischer Beziehung das Interesse vieler Forscher.

Das Meeresgebiet, das wir hier behandeln wollen, ist in dieser Hinsicht kein neues Arbeitsgebiet; die neueren Arbeiten von C. Börgen[1] und R. Harris[2] befassen sich eingehend mit den Gezeitenerscheinungen dieser Gebiete, und die von Börgen gegebene Theorie steht im guten Einklang mit den ziemlich komplizierten Beobachtungstatsachen. Wenn wir in diesem Abschnitt neuerlich auf diese zurückkommen, so geschieht dies vor allem deshalb, weil die hydrodynamische Theorie der Gezeiten für die meisten der verwickelten Erscheinungen in diesem Verbindungskanal in einfacher Weise eine völlig befriedigende Erklärung ergibt, während in Börgens Theorie denselben häufig nur in gezwungener Weise Rechnung getragen werden kann; mit der letzteren werden wir uns später noch eingehender zu befassen haben.

Im folgenden soll zunächst im kurzen an der Hand der Beobachtungstatsachen ein Bild der Gezeitenerscheinungen der erwähnten Meeresteile gegeben werden; es hätte vielleicht in dieser Hinsicht genügt, auf die erwähnten Arbeiten C. Börgens und R. Harris' direkt zu verweisen, die beide ebenfalls eine ausführliche Beschreibung der Beobachtungstatsachen gegeben haben. Trotzdem hielt ich es für angezeigt, diese hier, soweit es für die späteren Zwecke dienlich ist, zu wiederholen und hierbei besonders jene Tatsachen hervorzuheben, die für die Theorie von besonderer Wichtigkeit sind.

Der betrachtete Meeresteil erstreckt sich vom Atlantischen Ozean bis zur Nordsee; er bildet den Verbindungskanal beider Meere; die westliche Grenze (Mündung) desselben ist ohne Schwierigkeiten anzugeben und wohl festgelegt durch die Verbindungslinie der Insel Ouessant im Süden und der Scilly-Inseln im Norden. Im Osten ist die Grenze (Mündung) nicht mit dieser Sicherheit festzulegen; man dürfte aber nicht fehlgehen, wenn man eine Linie von der Washbucht (südlich Grimsby) bis zur Insel Ameland an der holländischen Küste als östliche Mündung des Verbindungskanals annimmt; spätere Erörterungen geben weitere Anhaltspunkte für die Wahl dieser Grenzen und zeigen, daß die durch den

---

1 Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie, 1898, 414 und 462, und 1908, p. 410 und 450.

2 Manual of Tides, IV. Bd.

bloßen Anblick der geographischen Karte des betrachteten Gebietes aufgezwungenen Grenzen auch vom hydrodynamischen Standpunkte gerechtfertigt erscheinen.

Für alle zwischen diesen zwei Grenzlinien gelegenen Küstenorte wurde nach den deutschen Gezeitentafeln Hafenzeit und Hubhöhe zur Zeit der Syzygien entnommen, beziehungsweise berechnet und in beigegebener Tabelle 4 übersichtlich zusammengestellt. Neben den geographischen Koordinaten jedes Hafens stehen einerseits die Hubhöhe bei Springflut in Metermaß, andererseits die Hafenzeit in Greenwicher Zeit; letztere wurde noch für spätere Zwecke in Mondstunden (ein Mondtag zu 24·6 Sonnenstunden genommen) umgerechnet, auf Zehntelstunden abgerundet und der Tabelle in der letzten Kolonne beigefügt.

Tabelle 4.

Hubhöhen und Hafenzeiten im Englischen Kanal und in der südwestlichen Nordsee (Hoofden).

Ort	Querschnitt	Geogr. Lage		Hubhöhe in *m*	Hafenzeit	
		nördl. Br.	westl., bezw. östl. v. Gr.		in Greenw. Zeit	in Mondstunden
Nordküste.						
Scilly-Inseln, Treskow	0·0	50·0	6·3 W	5·0	4h47	4·7
» » St. Agnes	0·0	49·9	6·3	4·9	4·55	4·8
» » St. Mary	0·0	49·9	6·3	4·8	4·43	4·7
Land's End	1·1	50·1	5·7	6·1	4·58	4·8
Newlyn	1·3	50·1	5·5	5·0	4·52	4·8
Penzance	1·5	50·1	5·5	5·0	4·52	4·8
Lizard	2·1	50·0	5·2	5·2	5·21	5·2
Coverack	2·4	50·0	5·2	5·6	4·56	4·9
Helford, Einfahrt	2·5	50·1	5·1	5·5	5·3	4·9
Falmouth	2·7	50·1	5·1	5·4	5·17	5·2
Mevagissy	3·4	50·3	4·8	4·7	5·24	5·3
Fowey	3·8	50·3	4·6	4·6	5·33	5·4
Polperoo	4·0	50·3	4·5	4·7	5·38	5·5
East Looe	4·1	50·3	4·5	5·1	5·44	5·6
Eddystone	4·4	50·2	4·3	4·9	5·32	5·4
Whitesand B.	4·5	50·3	4·3	4·9	5·47	5·5
Plymouth, Wellenbrecher	4·9	50·3	4·2	4·7	5·54	5·7
Devonport	4·9	50·4	4·2	4·7	6·0	5·8
Yealm, Mündung	5·0	50·3	4·1	5·0	5·53	5·7
Erme, Mündung	5·3	50·3	4·0	5·0	5·56	5·7
Avon, Mündung	5·4	50·3	3·9	5·0	6·3	5·9
Bolt Head	5·5	50·2	3·8	4·6	6·0	5·8
Salcombe	5·5	50·2	3·8	4·6	5·56	5·8
Start Pt.	5·8	50·2	3·6	4·6	5·56	5·8
Dartmouth	6·2	50·4	3·6	4·3	6·30	6·3
Torbay	6·4	50·4	3·5	4·1	6·14	6·1
Torquay	6·4	50·4	3·5	4·1	6·14	6·1
Teignmouth	6·5	50·6	3·5	4·0	6·14	6·1
Exmouth Dock, Einfahrt	6·8	50·6	3·4	3·4	6·41	6·5
Lyme Regis	8·0	50·7	2·9	3·5	6·33	6·4

Ort	Querschnitt	Geogr. Lage		Hubhöhe in *m*	Hafenzeit	
		nördl. Br.	westl., bezw. östl. v. Gr.		in Greenw. Zeit	in Mondstunden
Bridport	8·3	50·7	2·8 W	3·4	6h16	6·1
Chesilton, West B.	8·7	50·6	2·5	3·1	6·23	6·2
Portland Bill	8·7	50·5	2·5	2·7	6·45	6·6
Portland, Wellenbrecher	8·9	50·6	2·4	2·1	7·11	7·0
Sawanage B.	9·7	50·6	2·0	1·9	8·28 12·28	8·3 0·2 10·3[1]
Poole, Einfahrt	9·7	50·7	2·0	2·0	0·8 8·58	0·1 8·7 10·3[2]
Branksea	9·8	50·7	2·0	—	8·58 12·33	8·7 0·2 10·5[3]
Russel-Kai	9·8	50·7	2·0	—	9·38 12·53	9·4 0·6 11·0[4]
Warcham	9·8	50·7	2·1	1·2	10·24 1·49	10·1 1·5 11·8
Christchurch	10·0	50·7	1·7	1·5	9·7 11·37	8·9 11·3 10·1
Needles Pt.	10·4	50·7	1·6	2·3	9·52	9·6
Hurst Camber	10·5	50·7	1·6	2·3	10·6 12·6	9·8 11·8 10·8
Lymington	10·5	50·8	1·5	2·4	10·31 12·21	10·2 0·1 11·1
Yarmouth	10·6	50·7	1·5	2·1	10·6 12·6	9·8 11·8 10·8
Newton	10·8	50·7	1·4	2·9	10·21 12·21	10·1 0·1 11·1
Beaulieu	10·8	50·8	1·4	3·0	10·30 12·20	10·2 0·0 11·1
Cowes	11·0	50·8	1·3	3·8	10·20 11·20	10·1 11·1 10·6
Southampton	10·9	50·9	1·4	4·0	0·39 11·2	0·6 10·8 11·7
Calshot Castle	11·0	50·8	1·3	4·3	0·30 11·35	0·5 11·3 11·9
Portsmouth	11·5	50·8	1·1	3·9	11·45	11·4
Pegham	11·5	50·8	0·7	5·0	11·33	11·3
Ryde	11·5	50·7	1·2	4·1	11·25	11·2
Bembridge Pt.	11·9	50·7	1·1	4·0	11·24	11·2
Selsea Bill	12·3	50·7	0·8	5·0	11·48	11·5
Littlehampton Bar	13·0	50·8	0·5	4·9	11·22	11·2
Shoreham	14·0	50·8	0·2	5·5	11·35	11·3
Brighton	14·5	50·8	0·2 W	6·0	11·16	11·0
Newhaven	15·1	50·8	0·1 E	5·9	11·14	10·9
Beachy Head	15·5 (15 a)	50·7	0·2	6·1	11·19	11·0
Eastbourne	15·6	50·8	0·3	6·5	11·2	10·7
Hastings	16·7	50·8	0·6	7·3	10·51	10·6
Reye B.	17·2	50·9	0·8	6·7	11·17	11·0

[1] Hochwasser währt etwa vier Stunden; Hubhöhe sehr unsicher.

[2] Zwischen dem ersten und zweiten Hochwasser fällt das Wasser 0·05 *m*. Bei Nippflut findet nur einmal Hochwasser statt.

[3] Zwischen dem ersten und zweiten Hochwasser fällt das Wasser 0·5 *m* und steigt dann wieder 0·2 *m*.

[4] Zwischen dem ersten und zweiten Hochwasser fällt das Wasser 0·2 *m*.

Ort		Querschnitt	Geogr. Lage		Hubhöhe in *m*	Hafenzeit	
			nördl. Br.	westl., bezw. östl. v. Gr.		in Greenw. Zeit	in Mondstunden
Dungeness		17·4	50·9	1·0 E	6·6	10h41	10·4
Folkestone		18·2	51·1	1·2	6·1	11·2	10·7
Dover		18·6	51·1	1·3	5·5	11·7	10·8
Deal		19·0	51·2	1·4	4·9	11·9	10·9
Ramsgate		19·3	51·3	1·4	4·6	11·38	11·3
Margate		19·4	51·4	1·4	4·7	11·39	11·3
Themsemündung	Edinburgh, Kanal	19·6 (6·8)	51·5	1·4	4·0	11·54	11·6
	South Single Bake	(6·0)	51·5	1·3	4·8	11·55	11·6
	Pansand Hole	(5·8)	51·4	1·2	4·7	11·55	11·6
	The Nore	(2·5)	51·5	0·8	5·1	12·27	12·2
	Sheerness	(2·0)	51·4	0·8	5·3	12·34	12·2
	Chatam	(0·5)	51·4	0·5	5·5	12·38	12·3
	Gravesend	(0·0)	51·4	0·4	5·6	1·3	1·0
	Greenhithe (Themse)	—	51·5	0·3	5·9	1·14	1·2
	Foulness (Crouchfluß)	(4·0)	51·6	1·0	4·4	12·1	11·7
	Salesspitze	(4·6)	51·8	0·9	4·5	12·56	11·7
Colnefluß, Einfahrt		20·1	51·8	1·0	4·3	11·51	11·5
Middle Sunk		20·1	51·6	1·3	4·0	11·50	11·5
Little Sunk		20·5	51·7	1·4	3·7	11·44	11·4
Long Sand, Themse		20·1	51·8	1·6	3·7	11·44	11·4
Long Sand, Head		20·8	51·8	1·6	3·7	11·39	11·4
Gun Fleet, Sand		20·6	51·8	1·3	3·7	11·45	11·4
Kentish Knock, Feuerschiff		21·2	51·7	1·6	3·7	11·41	11·4
Galloper		21·3	51·7	2·0	—	11·19	11·0
The Naze		21·0	51·9	1·3	3·8	11·45	11·4
Harwich		21·2	51·9	1·3	3·8	11·51	11·6
Woodbridge, Br.		21·4	52·0	1·4	3·4	11·39	11·4
Orford Hafen, Barre		21·6	52·0	1·5	2·3	11·24	11·1
Hollesley		21·7	52·1	1·5	2·4	11·24	11·1
Orford-Ness		22·0	52·1	1·6	2·4	11·9	10·9
Aldborough		22·4	52·2	1·6	2·4	10·39	10·4
Southwold		23·1	52·3	1·7	2·0	10·13	10·0
Lowestoft		23·8	52·5	1·8	2·0	9·50	9·6
Yarmouth Red.		24·3	52·6	1·8	1·8	9·8	8·9
Winterton News		24·8	52·7	1·7	2·4	8·18	8·1
Hammond Knoll Bank		26·1	52·9	2·0	—	7·32	7·3
Leman u. Ower Bank		27·5	53·1	2·0	2·7	7·7	6·9
Cromer		27·3	52·9	1·3	4·5	6·55	6·7
Blakeney, Barre		27·5	53·0	1·0	4·6	6·26	6·4
Blakeney		27·6	53·0	1·0	2·6	6·46	6·6
Dudgeon Bank		27·8	53·2	1·0	4·6	6·16	6·1
Outer Dowsing		28·0	53·5	1·1	4·6	6·6	6·0
Wells		28·3	53·0	0·9	3·7	6·57	6·7
Wells Barre		28·3	53·0	0·8	5·5	6·17	6·1
Holkham Barre		28·3	53·0	0·8	5·5	6·17	6·1

Ort		Querschnitt	Geogr. Lage		Hubhöhe in *m*	Hafenzeit	
			nördl. Br.	westl., bezw. östl. v. Gr.		in Greenw. Zeit	in Mond-stunden
Wash-Bucht	Lynn	(1)	52·8	0·4 E	6·9	6·13	6·0
	Wisbeach	(0)	52·9	0·2	4·6	7·29 ?	7·3
	Sutton Brücke	(0)	52·8	0·2	6·3	6·29	6·3
	Boston Tief, Lehmgat	(0)	52·9	0·1	6·7	6·00	5·9
	Boston Dock	(1)	53·0	0·0	6·4	6·30	6·3
	Lynn Depp, Long Sand	(4)	53·0	0·3	7·0	5·59	5·9
Südküste.							
Ouessant		0·0	48·5	5·1 W	6·2	3h58	3·8
Molène		0·3	48·4	5·0	5·9	4·16	4·2
Le Conquet		1·0	48·4	4·8	5·9	4·0	3·9
L'Aberildut		1·3	48·5	4·8	5·0	4·17	4·2
Porsal B.		1·5	48·5	4·7	8·4	4·28	4·4
L'Abervrach		1·7	48·6	4·6	7·2	4·52	4·8
Pontusval		2·5	48·7	4·3	7·2	4·42	4·6
J. de Bas		3·2	48·7	4·0	7·3	5·8	5·0
Roscoff		3·2	48·7	4·0	7·7	5·13	5·1
Morlaix Rhede		3·5	48·7	3·9	7·7	5·9	5·0
Lannion, Mündung		4·2	48·7	3·5	7·7	5·15	5·1
Ploumanach		4·5	48·8	3·5	8·9	5·36	5·5
Plougrescant		5·2	48·8	3·2	7·9	5·35	5·5
Tréguier-Mündung		5·3	48·9	3·1	9·7	5·34	5·4
Golf von St. Malo	Le Héaux, Leuchtfeuer	5·5 (4·7)	48·9	3·1	9·5	6·2	5·9
	J. de Bréhat	5·7 (4·4)	48·9	3·0	10·1	6·15	6·1
	Paimpol	5·5 (4·2)	48·8	3·0	10·1	6·10	6·0
	Portrieux	5·8 (4·6)	48·6	2·8	9·5	6·2	5·9
	Binic	5·8 (3·0)	48·6	2·8	10·4	6·4	5·9
	Port de Dahouet	6·2 (2·5)	48·6	2·6	10·5	6·7	6·0
	Erquy	6·7 (2·4)	48·6	2·5	10·5	6·10	6·0
	St. Malo	7·6 (1·4)	48·6	2·0	10·8	6·8	6·0
	Cancale	8·0 (1·0)	48·7	1·9	11·5	6·18	6·1
	Granville	8·8 (1·0)	48·8	1·6	11·7	6·17	6·1
	Les Miniquiers	(2·5)	48·9	2·2	10·6	6·26	6·2
	Chausey-Inseln, le Sund	(1·6)	48·9	1·8	11·2	6·12	6·0
	Regnéville	(1·4)	49·0	1·6	11·2	6·14	6·1
	St. Germain sur Ay	(2·0)	49·2	1·6	11·0	6·14	6·1
	Les Écrehoux	(3·1)	49·3	2·0	9·7	6·37	6·4
	Diélette	(3·8)	49·6	1·9	8·2	6·38	6·5
	Goury	(4·0)	49·7	2·0	6·5	7·9	6·9
	Jersey, Gorey	(3·1)	49·2	2·0	9·8	6·31	6·3
	» , St. Hélier	(3·1)	49·2	2·1	10·2	6·33	6·4
	» , Rozel	(3·1)	49·2	2·0	9·5	6·23	6·2
	Guernsey, St. Peter Port	7·5 (5·0)	49·5	2·5	8·0	6·52	6·7
	Le Casquets	8·1 (5·0)	49·7	2·4	5·1	6·55	6·7
	Alderney-Inseln	8·5 (5·0)	49·7	2·2	5·2	6·55	6·7

Ort	Querschnitt	Geogr. Lage		Hubhöhe in *m*	Hafenzeit	
		nördl. Br.	westl., bezw. östl. v. Gr.		in Greenw. Zeit	in Mondstunden
Omonville-la-Rogue	9·3	49·7	1·8 W	5·4	7h40	7·4
Cherbourg	10·2	49·7	1·6	5·3	8·2	7·8
Barfleur	11·1	49·7	1·3	5·0	8·46	8·5
La Hougue	11·1	49·6	1·3	5·4	8·49	8·6
Grand Vey	11·5	49·4	1·1	5·8	8·34	8·4
Port-en-Bassin	12·1	49·3	0·8	5·6	9·12	9·0
Courseulles	12·7	49·3	0·5	6·2	9·9	8·9
Oyestreham	13·0	49·3	0·2	6·5	9·32	9·3
Point du Siège	13·1	49·3	0·2	6·5	9·9	8·9
Sallenelles	13·1	49·3	0·2	6·5	9·13	9·0
Dives	13·3	49·3	0·1 W	6·7	8·59	8·8
Trouville-sur-Mer	13·6	49·4	0·1 E	6·4	9·24	9·2
Honfleur	13·8	49·4	0·2	6·7	8·53	8·7
Le Havre	13·6	49·5	0·1	6·6	9·9	8·9
Fécamp	14·3	49·8	0·4	7·1	10·42	10·4
St. Valery-en-Caux	14·9	49·9	0·7	8·5	10·43	10·4
Dieppe	15·5 (15 a)	49·9	1·1	8·5	10·59	10·7
Le Tréport	16·1	50·1	1·4	9·3	11·5	10·8
Cayeaux-sur-Mer	16·5 (16 a)	50·2	1·5	9·0	11·5	10·8
St. Valery sur Somme	16·7	50·2	1·6	9·0	11·25	11·2
Berck-sur-Mer	17·1	50·4	1·6	8·1	11·6	10·8
Le Touquet	17·4	50·5	1·6	8·3	11·10	10·9
Boulogne s. M.	17·9	50·7	1·6	8·0	11·16	11·0
Varne und Ridge, Untiefe	18·0	50·8	1·4	—	10·34	10·3
Gris Nez	18·3	50·9	1·6	6·6	11·21	11·1
Wissant	18·4	50·9	1·7	7·6	11·46	11·4
Calais	19·0	51·0	1·8	6·2	11·37	11·3
Gravelines	19·5	51·0	2·1	6·1	12·1	11·7
Dünkirchen	19·9	51·0	2·4	5·3	12·14	11·9
Nieuport	20·6	51·2	2·7	4·8	11·47	11·5
Ostende	21·0	51·2	2·9	4·6	0·2	0·0
West-Hinder Feuerschiff	20·9	51·4	2·4	4·0	0·15	0·3
Nord-Hinder	21·7	51·6	2·6	3·2	11·50	11·6
Blankenberghe	21·5	51·3	3·1	4·4	0·18	0·3
Zeebrügge	21·6	51·3	3·2	4·3	0·16	0·3
West-Schelde	21·6	51·4	3·0	4·7	0·3	0·0
Vlissingen	22·2	51·4	3·6	4·7	1·11	1·2
West-Kapelle	22·4	51·5	3·4	4·5	0·56	0·9
Veere-Hafen	22·6	51·6	3·7	3·4	1·40	1·6
Wissekerke	22·6	51·6	3·7	3·1	1·15	1·3
Burgsluis	23·0	51·7	3·8	3·1	1·15	1·3
Bei der Westhuk von Schouven	23·0	51·7	3·7	2·4	0·45	0·8
Brouwershaven	23·2	51·7	3·9	2·8	2·4	2·0
Goerereede	23·6	51·8	3·9	2·2	1·44	1·7
Hellevoetsluis	23·7	51·8	4·1	2·1	2·39	2·6
Brielle	24·0	51·9	4·2	1·8	2·43	2·6

Ort	Querschnitt	Geogr. Lage		Hubhöhe in *m*	Hafenzeit	
		nördl. Br.	westl., bezw. östl. v. Gr.		in Greenw. Zeit	in Mondstunden
Hoek van Holland	24·1	52·0	4·1 E	1·6	2h14	2·2
Seegat der Hoek van Holland	24·1	52·0	4·1	2·0	2·14	2·2
Katwijk	24·8	52·2	4·4	1·7	2·47	2·7
Ijmuiden	25·5	52·5	4·6	1·8	3·42	3·6
Seegat von Schulpegat	26·4	53·0	4·7	1·4	6·11	6·0
Haaks, Feuerschiff	26·6	52·9	4·3	1·6	5·23	5·3
Seegat von Texel vor den Außengründen	26·5	52·9	4·6	1·3	5·42	5·6
Engelschmangat	26·9	53·2	4·9	1·6	6·40	6·5
Vlie, Seegat	27·5	53·4	5·1	1·9	6·50	6·7
Terschellingbank, Feuerschiff	28·2	53·5	4·9	2·2	6·41	6·5
Ameland	29·0	53·4	5·7	2·3	8·7	7·9

In Fig. 9 wurde an jedem Küstenorte die Hubhöhe in Metern eingetragen und außerdem durch Zeichnung von Linien gleicher Hafenzeit eine Übersicht über Phase der Gezeitenwelle zur Zeit der Syzygien gegeben. Hierbei wurde die in Mondstunden angegebene Hafenzeit als Grundlage gewählt.

Im Englischen Kanal bis zur Straße von Dover ersieht man, sowohl auf der englischen, wie auf der französischen Seite, ein regelmäßiges Anwachsen der Hafenzeit von 4·5 Stunden an der Mündung in den Atlantischen Ozean bis 11 Stunden in der Straße von Dover. Die Entfernung der einzelnen Flutstundenlinien von einander ist aber im ganzen Kanal nicht dieselbe; im westlichen Teil desselben sind die Abstände ziemlich groß, werden aber dann an der durch die von Süden vordrängende Halbinsel Cotentin gebildeten Enge, in der Nähe der südenglischen Vorsprünge bei St. Albans und der Insel Wight ziemlich unvermittelt klein. Nach dieser Zusammendrängung der Flutstundenlinien werden die Abstände wieder größer und der ganze Raum im östlichen Teil des Englischen Kanals hat Hafenzeiten, die nur wenig von einander abweichen; kleine Unregelmäßigkeiten finden sich aber trotzdem, sowohl an der Nord-, wie Südküste des Kanals. Die Verteilung der Flutstundenlinien steht, was schon hier hervorgehoben sei, in gar keinem Zusammenhang mit den Wassertiefen in diesem Kanalteil.

Die Verteilung der Hubhöhen zeigt zunächst die auffallende Erscheinung, daß alle Hubhöhen an der französischen Seite erheblich größer sind als auf der gegenüberliegenden englischen Küste. An beiden Küsten aber zeigt sich (wenn wir von den großen Hubhöhen in dem inneren Teil des Golfes von St. Malo, die anderen Ursprungs sind, absehen) eine Abnahme der Hubhöhe bis zur erwähnten Verengung des Kanals zwischen Cap de la Hague und St. Albans, gerade an jener Stelle, an der die Zusammendrängung der Flutstundenlinien gefunden wurde. Östlich dieses Minimums erreichen die Hubhöhen ein Maximum vor der Straße von Dover zwischen Hastings (7·3 *m*) im Norden und Tréport (9·3 *m*) im Süden. Nach der Verteilung der Hubhöhen und gemäß dem Umstande, daß im Gebiete westlich von der Straße von Dover die Hafenzeit etwa sechs Stunden von jener an der Mündung in den Atlantischen Ozean verschieden ist, ist es wohl nicht zu bezweifeln, daß von Cap de la Hague zu St. Albans Head hinüber eine uneigentliche Knotenlinie einer stehenden Schwingung vorhanden sein muß.

Der außerordentlich große Tidenhub, der in der Normannischen Bucht und an den inneren Kanalinseln gefunden wird, bildet wohl eine besondere Erscheinung und steht mit den allgemeinen Gezeitenerscheinungen des Kanals nur in indirekter Beziehung. Die Ursache dieser Riesentiden liegt ohne Zweifel in dem durch Resonanzwirkungen wesentlich verstärkten Mitschwingen der Wassermassen der Normannischen Bucht mit der äußeren Gezeitenbewegung im Kanal. Da letztere schon verhältnißmäßig

großer Amplitude ist, umsomehr die Hubhöhe in den inneren Teilen der trichterförmig sich verengenden und gleichzeitig sehr seicht werdenden Bucht.

Von der Doverenge gegen Westen, im südwestlichen Ausläufer der Nordsee, zeigt die Anordnung der Flutstundenlinien eine gut ausgebildete, entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers verlaufende Amphidromie mit dem Drehungszentrum auf der Linie Yarmouth—Helder. An der britischen Küste wachsen die Hafenzeiten von Norden nach Süden, auf der festländischen Seite hingegen gegen Nordosten hin. R. Harris hat zuerst die Anordnung der Hafenzeiten in diesem Meeresteil als Amphidromie gedeutet und dadurch wesentlich zur richtigen Erklärung der komplizierten Gezeitenerscheinungen dieses Kanalteils beigetragen. Die Verteilung der Hubhöhen weist ebenfalls darauf hin, daß auf der Linie Yarmouth—Helder eine uneigentliche Knotenlinie vorhanden sein muß; denn sowohl an der englischen als auch an der holländischen Küste tritt hier ein deutliches Minimum der Hubhöhe auf. Außerhalb der Linie Washbucht—Ameland, die wir als die östliche Mündung des ganzen Verbindungskanals angenommen haben, gehören die Gezeitenerscheinungen augenscheinlich einem anderen Wellensystem an, das scheinbar nur wenig in Beziehung zur Amphidromie in den Hoofden steht.

Im ganzen Verbindungskanal zwischen dem Atlantischen Ozean und der Nordsee scheint demnach nach den Beobachtungstatsachen eine Welle mit zwei uneigentlichen Knotenlinien zur Ausbildung zu gelangen; die erste derselben befindet sich bei der durch die Halbinsel Cotentin bedingten Verengung des englischen Kanals, die zweite nahe dem östlichen Ausgang des Verbindungskanals auf der Linie Yarmouth—Helder. Der Schwingungsbauch zwischen den zwei Minima der Hubhöhe liegt nicht unweit der Doverenge, auf der Linie Hastings—Tréport.

Neben den bisher beschriebenen Hauptzügen der Gezeiten finden sich noch einzelne lokale Erscheinungen. Die Riesentiden der Bucht von St. Malo haben wir bereits hervorgehoben; ähnliche, wenn auch nicht so bedeutende Vergrößerungen der Hubhöhe, die ohne Zweifel durch das Mitschwingen teilweise abgeschlossener Wassermassen mit der äußeren Gezeitenbewegung bedingt sind, findet man in der Themsemündung (von 3·7 auf nahezu 6 *m*), weiters in der Washbucht von (4·6 auf 6·7 *m*) und teilweise auch in den einzelnen Kanälen der Scheldemündung. Bemerkenswert ist außerdem noch der abnormale Verlauf der Gezeiten in Küstenorten in der Nähe der Insel Wight. Tabelle 4 weist in der Umgebung derselben eine größere Anzahl von Häfen auf, an denen ein doppeltes, vereinzelt auch ein dreifaches Hochwasser auftritt. Der hohe Wasserstand dauert zum Beispiel in Southampton nahezu drei Stunden. Krümmel hat in seiner Ozeanographie[1] eine Anzahl von Tidenkurven gegeben, die diese Unregelmäßigkeit der Gezeiten demonstrieren. Auch in der Seinebucht zeigt sich die Ausbildung eines zweiten, in Havre sogar eines dritten Hochwassers, derart, daß hier wie in Southampton das Hochwasser volle drei Stunden innerhalb einer nur kleinen Schwankung von 0·4 *m* unverändert bleibt.

Eine ganz ähnliche Erscheinung wiederholt sich an der holländischen Küste bei Hock van Holland und in Ymuiden; hier zeigen sich aber statt zwei Hochwasser zwei Niedrigwasser, die von einer kleinen Schwellung, Agger genannt, getrennt sind. Helder hat hingegen wieder ein doppeltes Hochwasser. Es ist auffallend, daß sowohl im östlichen als auch im westlichen Schwingungsgebiet diese Unregelmäßigkeiten in den Tidenkurven nicht unweit der uneigentlichen Knotenlinien auftreten. Beide Erscheinungen hängen sicherlich innerlich zusammen.

Wir wenden uns nun den Strömungen zu, die mit den Gezeiten verbunden sind und die in ihrer Einheitlichkeit noch deutlicher darauf hinweisen, daß die ganzen Wassermassen des betrachteten Verbindungskanals zu einem einzigen Schwingungsgebiet gehören. Für Zwecke der Seeschiffahrt sind die Strömungserscheinungen schon frühzeitig gründlich untersucht worden. Die Deutsche Seewarte hat im Jahre 1905 einen eigenen Atlas der Gezeiten und Gezeitenströme für das Gebiet der Nordsee und

[1] II. Teil, p. 344 und 346. II. Auflage, 1911.

der britischen Gewässer[1] herausgegeben, in dem das Material auch früherer Arbeiten[2] in erschöpfender und zuverlässiger Weise zur Darstellung gebracht ist. Stündliche Stromkarten für das erwähnte Gebiet findet man auch in den deutschen Gezeitentafeln eines jeden Jahres. Eine ausführliche Besprechung der Strömungen hat C. Börgen[3] gegeben; wir verweisen hier auf diese Ausführungen und halten uns im folgenden im Wesen an diese Darstellung.

Zu jeder Zeit findet man im ganzen betrachteten Kanal Gebiete, die stromlos sind und welche Stromscheiden bilden; die Strömungen divergieren oder konvergieren auf beiden Seiten derselben in bezug auf diese; sie sind also gleichzeitig Konvergenz- oder Divergenzlinien. Im allgemeinen treten drei Stromscheidelinien auf, welche wir mit Börgen als die atlantische, die Kanal- und die Nordseestromscheide unterscheiden wollen. Als atlantische bezeichnet man jene, die westlich des Nullmeridians von Greenwich auftritt, als Kanalscheide diejenige, welche sich östlich davon und südlich von $52^1/_2°$ nördl. Br. zeigt, während die Stromscheide nördlich und nordwestlich von 53° nördl. Br., also nahe der östlichen Mündung des Verbindungskanals, als die Nordseestromscheide bezeichnet wird.

Zur Zeit von Hoch- und Niedrigwasser bei Dover liegt die atlantische Stromscheide als ausgedehntes stromloses Gebiet südlich der Insel Wight. Die Kanalscheide liegt gleichzeitig in der südlichen Nordsee auf der Linie Themsemündung—Nieuport und erstreckt sich bis nahe an die niederländische Küste.

Zwischen diesen zwei Stromscheiden, also von der Insel Wight bis zur Themsemündung, herrscht bei Hochwasser zu Dover (das ist Hafenzeit 11^h) Nordost, beziehungsweise Ostnordoststrom, welcher in der Straße von Dover am stärksten ist und bis zu 3·5 Knoten erreicht; westlich von der ausgedehnten atlantischen Stromscheide, bei der Insel Wight, herrscht hingegen westsüdwestlicher Strom und jenseits des stromlosen Streifens von der Themsemündung bis Ostende, also nordöstlich von der Kanalstromscheide, schwache südwestliche Strömung, an die sich im Norden zwischen $52^1/_2$ bis 54° ein ausgedehntes Gebiet schwacher, im Kentern begriffener Strömung anschließt.

Bei Niedrigwasser bei Dover (das ist etwa Hafenzeit 5^h) sind die Verhältnisse insoweit identisch, als die Stromscheidelinien dieselbe Lage besitzen; nur haben die Strömungen überall gerade die entgegengesetzten Richtungen: westlich der atlantischen Scheide herrscht ostnordöstlicher, zwischen der atlantischen und der Kanalstromscheide westlicher Strom und östlich der letzteren nordöstliche Strömung, welche schließlich in die von Norden über Osten nach Westen umbiegende Nordseeströmung mündet.

Eine Stunde nach Hochwasser bei Dover hat sich im Englischen Kanal bis zu einer Linie, die sich von Hastings nach Fécamp oder Dieppe ziehen läßt, ein besonders in der durch die Halbinsel Cotentin bedingten Enge kräftiger westsüdwestlicher Strom eingestellt, während westlich von der erwähnten Kanalstromscheide starker (besonders in der Straße von Dover) nordöstlicher Strom herrscht. Während sich dieser an der englischen Küste allmählich in die von der Deutschen Bucht der Nordsee kommenden Westströmung, die bald dort gegen Nordwest dreht, schwächer und schwächer werdend, einfügt, trifft der Stromteil an der holländischen Küste mit dem von Norden kommenden Stromteil aus der Deutschen Bucht zusammen; zwischen Hock van Holland und Ymuiden liegt hier ein sich ziemlich weit gegen Norden ins offene Meer erstreckendes, stromloses Gebiet. Die Nordseestromscheidelinie ist wohl zu dieser Zeit an diese Stelle zu setzen. Eine Stunde nach Niedrigwasser bei Dover sind die Verhältnisse ähnlich; doch haben die Strömungen wieder alle die entgegengesetzte Richtung.

Die eben beschriebenen Strömungsverhältnisse bleiben nun im allgemeinen bestehen, bis bei Dover Niedrigwasser eintritt; hervorzuheben ist jedoch, daß die Stromscheidelinien allmählich von Westen

[1] Hamburg, 1905.

[2] Kapt. F. W. Beechey, Phil. Transactions, 1851, p. 7037; M. Hédouin, Cartes des Courants de la Marche et de l'entrée de la mer du Nord, Paris 1891; Kapt. C. H. Seemann, Hamburg 1897.

[3] C. Börgen, Über die Gezeitenerscheinungen im Englischen Kanal und dem südwestlichen Teil der Nordsee. Annalen der Hydrographie u. marit. Meteorologie, 1898, p. 416 u. ff.

nach Osten, in der Nordsee von Süden nach Norden, allerdings manchmal ziemlich sprunghaft, also im wesentlichen in der Richtung vom Atlantischen Ozean gegen die Nordsee hin weiterrücken. Börgen hat in der richtigen Erkenntnis daß für die Theorie der Gezeiten und Gezeitenströme die Lage der Stromscheidelinien ein besonders wichtiges Argument bildet, ihre Lage zu den einzelnen Zeiten genauer festgelegt; hierbei genügt es, bloß die Zeit von Hochwasser bis Niedrigwasser zu betrachten, da in der anderen Wellenhälfte die Verhältnisse, wie bereits schon erwähnt, gleich liegen. Nach den Karten der Strömungen in den deutschen Gezeitentafeln erhält man folgende Übersicht über die Lage dieser Linien für jede Stunde nach Hochwasser bei Dover:

Tabelle 5.

Lage der Stromscheidelinien im Verbindungskanal Atlantischer Ozean—Nordsee.

	Nordsee		
	Atlantische	Kanal-	Nordsee-
	Stromscheide		
1 Stunde nach Hochwasser bei Dover	—	Hastings, Eastbourne—Fécamp, Dieppe [15—16]	Hock van Holland, Ymuiden nach NNW hin [23—25]
2 Stunden nach Hochwasser bei Dover	Landsend—I. de Bas [1—2]	Hastings—Tréport, Cayeux [16—17]	Ymuiden, Helder [26—27] und Cromer, Washbucht gegen NNE
3 Stunden nach Hochwasser bei Dover	Falmouth, Plymouth—Eingang in die normannische Bucht [3—5]	Ryebay—Sommemündung [17]	Washbucht nach NE und Terschelling nach WNW [27—28]
4 Stunden nach Hochwasser bei Dover	Start Point—Casquets [5—7]	Dungeness—Baie d'Authie [17—17 a)	außerhalb der Ostmündung
5 Stunden nach Hochwasser bei Dover	Lyme Regis—Cap de la Hague [7—9]	Margate—Gravelines [19—19 a]	—
Niedrigwasser bei Dover	ausgedehntes stromloses Gebiet südlich der Insel Wight [10—53]	Themsemündung—Ostende [20—21]	—

Genau in derselben Weise wiederholt sich nun die Verschiebung der Stromscheidelinien in der Zeit zwischen Niedrigwasser und Hochwasser; eine Stunde nach Niedrigwasser liegt wieder die atlantische Scheide außerhalb der westlichen Mündung des Verbindungskanals, die Kanalscheide bei Hastings—Fécamp. Scheinbar haben also beide Stromgrenzlinien eine plötzliche Verschiebung von Osten nach Westen erfahren. Dem ist aber nicht so; die zur Zeit des Niedrigwassers bei Dover als ausgedehntes Stauwasser südlich der Insel Wight liegende Stromscheide ist, sich wesentlich verengend, weiter ostwärts vorgerückt und durch Vorrückung über den Nullmeridian zur Kanalstromscheide geworden. Auch die Kanalscheide Themsemündung—Ostende hat sich nordostwärts verschoben und ist zur Nordseestromscheide geworden, welche, besonders auffallend an der holländischen Küste, die Strömung aus der Nordsee von jener in den Hoofden trennt.

So rückt eine Stromscheide nach der anderen von Westen nach Osten durch den ganzen Verbindungskanal hindurch; jede derselben trennt östlichen Strom von westlichen, und zwar während des Steigens des Wassers bei Dover scheidet die atlantische Scheide östlichen Strom (im Westen derselben) vom westlichen (im Osten derselben), die Kanalstromscheidelinie westlichen vom östlichen bis nordöstlichen und die Nordseescheidelinie nordwestlichen von südöstlichen Strom. Zur Zeit des Fallens des Wassers bei Dover findet das umgekehrte statt. Auf den Stromscheidelinien herrscht natürlich Stromstille.

Wir haben die Stromverhältnisse auf die Zeit des Hochwassers bei Dover bezogen; es ist üblich geworden und in allen graphischen Darstellungen der Gezeitenströme auch durchgeführt worden, die Stromverhältnisse auf den Stand der Gezeit an einem bestimmten Basisort zu beziehen. Praktischen Bedürfnissen gegenüber ist dies gewiß vorteilhaft, vom wissenschaftlichen Standpunkt hat es jedoch nur eine Bedeutung, die Stromverhältnisse, das ist dessen Phase (Stromstille, stärkste oder schwächste Strömung) an einem Orte zu dem Stande der Gezeit an demselben Orte, in Beziehung zu bringen. Von besonderem Interesse ist es zu wissen, zu welcher Phase der Ortsgezeit an einem Orte Stromwechsel erfolgt; dies kann im Verein mit der Gezeitentafel 4, beziehungsweise der graphischen Darstellung der Flutstundenlinien in Fig. 9 direkt für die durch die Stromscheidelinien-Übersicht in Tabelle 5 gegebenen Punkten ermittelt werden. Folgende Tabelle 6 gibt eine neu berechnete Übersicht über das Zeitintervall zwischen dem Stromwechsel an diesen Punkten und der nachfolgenden Extremphase der Gezeit (Zeit des Hoch-, beziehungsweise Niedrigwassers — Zeit des Stromwechsels).

Tabelle 6.

	Atlantische	Kanal-	Nordsee-
	Stromscheide		
1 Stunde nach Hochwasser bei Dover	—	$4 \cdot 8^h$	$3 \cdot 2^h$
2 Stunden nach Hochwasser bei Dover	$4 \cdot 1^h$	$3 \cdot 9^h$	$3 \cdot 7^h$
3 Stunden nach Hochwasser bei Dover	$3 \cdot 5^h$	$2 \cdot 9^h$	$4 \cdot 2$—$4 \cdot 7^h$
4 Stunden nach Hochwasser bei Dover	$2 \cdot 9$—$3 \cdot 9^h$	$2 \cdot 0^h$	—
5 Stunden nach Hochwasser bei Dover	$2 \cdot 6$—$4 \cdot 8^h$	$1 \cdot 7^h$	—
Niedrigwasser bei Dover	$2 \cdot 2$—$5 \cdot 2^h$	$0 \cdot 6$—$1 \cdot 0^h$	—

Der Unterschied zwischen der Zeit des örtlichen Hoch-, beziehungsweise Niedrigwassers und der Zeit des Stromwechsels ist im Bereiche des Kanals ziemlich veränderlich; im westlichen Teil des Kanals, in der Nähe des Atlantischen Ozeans, scheint sich der Stromwechsel etwa 3 bis 4 Stunden vor den Extremphasen der Gezeit zu ereignen. Je weiter man aber nach Osten hin in den Kanal eindringt, wird das Intervall kleiner und kleiner, bis es an der Westgrenze des großen stromlosen Gebietes südlich der Insel Wight auf 2·2 Stunden gesunken ist. Innerhalb dieses Gebietes wächst es rasch an und beträgt an der Ostseite desselben bereits mehr als 5 Stunden. Im Bereich der Kanalscheidelinie nimmt es dann wieder allmählich und stetig ab, erreicht in der Doverstraße etwa 3 Stunden und geht bis zur Linie Themsemündung—Ostende bis auf weniger als 1 Stunde herab. Wesentlich geringer sind die Änderungen bei der Nordseestromscheide, bei der aber die Ermittlung des Intervalls zwischen Extremphase und vorhergehendem Stromwechsel nicht jene Sicherheit beanspruchen darf, wie bei den früheren Linien. In ihrem Bereiche gibt es nämlich Stellen, an denen die Strömung nie ganz aufhört; die Ströme nehmen im Bereiche der Hoofden zumeist den Charakter von Drehströmen an; die Drehrichtung ist an der englischen Küste wie beim Uhrzeiger, an der holländischen entgegengesetzt dem Uhrzeiger. Die Richtungen größter und kleinster Stromstärke stehen aufeinander senkrecht. Nimmt man die Zeit der geringsten Stromstärke, der ja anderswo die Stromstille entspricht, als Zeit des Kenterns der Strömung an, so zeigt das Intervall zwischen Extremphase und Stromwechsel, das von der Themsemündung 0·6 Stunden beträgt, eine neuerliche Zunahme bis auf etwa 5 Stunden, wenn man von der Doverstraße längs der niederländischen Küste bis Ameland fortschreitet.

Zum Schluß noch einige Worte über die Maximalstromstärke zur Zeit der Syzygien an den verschiedenen Orten. Dieselbe ist vor allem stets größer an der französischen Küste des Kanals und an der englischen Küste der Nordsee als an den gegenüberliegenden Küsten; der Unterschied beträgt zumeist einen Knoten, manchmal aber auch mehr. In der Nähe der uneigentlichen Knotenlinie zwischen

St. Albans Head und Cap de la Hague ist sie stets größer als westlich und östlich davon, etwa 3·5 Knoten in der Mitte des Kanals und bis zu fünf Knoten an der französischen Küste. Eine Stelle größerer Stromstärke ist sodann noch die Straße von Dover, wo zeitweise fünf bis sechs Knoten erreicht werden. In dem Bereiche der Hoofden sind die Stromstärken wesentlich kleiner, 1·8 bis 3·0 Knoten. Meistens findet sich die Regel bestätigt, daß die Orte größter Hubhöhe mit jener der schwächsten Strömung zusammenfallen.

Nicht Erwähnung haben bisher die Strömungen in der Normannischen Bucht gefunden; nach dieser muß letztere in zwei Teile geteilt werden: nämlich in einen nördlichen Teil, der bezüglich der Stromverhältnisse sich im allgemeinen an jene im Kanal herrschenden anschließt, und in einen südlichen, in dem nach den dort herrschenden Schwingungsverhältnissen die Horizontalströme mit der Flut nach Norden und mit der Ebbe nach Süden setzen. Zwischen den Inseln und Klippen entwickeln sich hiebei ganz außerordentlich große Stromstärken (7 bis 8 Knoten), stellenweise auch Stromwirbel, die bei Ebbe den Schiffen sehr gefährlich werden können. Im innersten Teile der Bucht hat der Strom bei Springflut eine Maximalstärke von vier Knoten.

Aus der in möglichster Kürze gegebenen Übersicht der Beobachtungstatsachen kann man ersehen, daß der betrachtete Verbindungskanal zwischen dem Atlantischen Ozean und der Nordsee ein Schwingungsgebiet für sich bildet und daß die zur Ausbildung gelangenden Schwingungsverhältnisse nur dann eine befriedigende Erklärung finden können, wenn man die Wassermassen des Kanals als ganzes betrachtet.

2. Die bisherige Erklärung der Beobachtungstatsachen.

Für eine Theorie der Gezeitenerscheinungen in einem Verbindungskanal ist es wohl das naheliegendste zu fragen, welche Bewegungen die Wassermassen des Verbindungskanals unter der Einwirkung der periodischen Gezeitenbewegung der zwei angrenzenden Meere ausführen. Dies scheint auch die Fragestellung Airy's gewesen zu sein, als er die Gezeiten des englischen Kanals als ein Beispiel zu der im Artikel 311 u. ff. der Tides and Waves behandelten Aufgabe, in welcher die Gezeiten in einem an beiden Enden mit den gezeitenführenden Meeren kommunizierenden Kanal untersucht werden, angab.[1]

C. Börgen,[2] der sich mit der Erscheinung der Gezeiten im Englischen Kanal und in der südwestlichen Nordsee besonders befaßt hat, verwirft diesen Erklärungsversuch, da nach ihm viele, darunter gerade die wichtigsten beobachteten Erscheinungen so »fundamentale« Abweichungen von den Ergebnissen der theoretischen Untersuchung zeigen, daß die Annahme, der südliche Teil der Nordsee und der Englische Kanal bildeten einen an beiden Enden in ein gezeitenführendes Meer ausmündenden Kanal, nicht aufrecht zu erhalten ist. Inwieweit diese Ansicht Börgen's auf Richtigkeit beruht, werden wir im folgenden sehen.

Wir wenden uns nun Börgen's Erklärung der beobachteten Tatsachen zu. Eine Gruppe von Erscheinungen findet nach ihm ihre Erklärung in lokalen Verhältnissen. Hierher gehören das doppelte Hochwasser in den Häfen von Solent (bei der Insel Wight), das verlängerte Hochwasser in Havre, der Agger der niederländischen Küste und der hohe Flutwechsel in der Normannischen Bucht. Alle diese Erscheinungen sind die Folge von Hindernissen, die sich der Fortpflanzung der als fortschreitende Welle aufgefaßten Gezeitenwelle entgegenstellen, bzw. dem Mitschwingen zum Teil abgeschlossener Wassermassen mit der äußeren Gezeitenbewegung, dem der Charakter einer stehenden Welle zukommt, zuzuschreiben.

Eine zweite Gruppe von Erscheinungen, zu denen wohl die regelmäßigen Gezeiten und Gezeitenströme des ganzen Verbindungskanals gehören, finden nach Börgen ihre Erklärung in dem Umstande,

---

[1] Tides and Waves, Artikel 522.

[2] l. c., p. 466 u. f.

daß innerhalb des in Frage stehenden Gebietes sich zwei (fortschreitende) Wellen kreuzen. Der Verlauf dieser Wellen ist, zumeist nach den Darlegungen C. Börgens selbst, kurz folgender:

Die im Atlantischen Ozean etwa von Süden nach Norden sich fortpflanzende Gezeitenwelle tritt mit einer nach Ostnordost gerichteten Fortpflanzungsrichtung an der westlichen Mündung in den Englischen Kanal ein. Beim Übergang aus dem tiefen auf das flachere Wasser der Küstenzone hat diese fortschreitende Welle im umgekehrten Verhältnis der vierten Wurzel aus den Tiefen an Höhe zugenommen. In ihrem weiteren Verlaufe im Kanal tritt eine weitere, wenn auch geringe Erhöhung ein, weil die Breite des Kanals von Westen nach Osten abnimmt, eine Wirkung, welche der Quadratwurzel der Breiten umgekehrt proportional ist. Infolge der Einwirkung der Reibung werden diese Erhöhungen der ozeanischen Welle nicht ganz im vollen Maße eintreten, immerhin aber wird die Kanalwelle (wie die von Westen kommende fortschreitende Welle genannt wird) die Straße von Dover mit einer nicht unbeträchtlichen Höhe erreichen.

Ehe nun diese fortschreitende Welle die Straße von Dover durchlauft und in die Nordsee eintritt, wird sie zum großen Teil durch die fast von Nord nach Süd verlaufende Küste des Departements Pas de Calais aufgehalten, hier zu fast der doppelten Höhe aufgestaut und nach der englischen Küste von Hastings bis etwa Selsea Bill hinüberreflektiert. Eine erneuerte Reflexion von der englischen nach der französischen Küste hinüber findet wegen zu spitzen Einfallswinkels nicht statt.

Der Teil der Kanalwelle, welcher durch die Straße von Dover in die Nordsee eintritt, findet nun ein weites Becken vor, in welchem er sich fächerförmig ausbreiten kann. Die Folge davon ist, daß die Höhe der Welle wieder allmählich abnehmen wird. Doch kann dies nur in der Richtung der Straße von Dover, die frei von Land führt, erfolgen; an der östlichen Seite stellt sich der freien, seitlichen Ausbreitung die belgisch-holländische Küste als ein Hindernis entgegen; dadurch wird die Welle an dieser Küste, wenigstens vom Punkte an, wo der Küstenverlauf eine mehr und mehr nördliche Richtung annimmt, nicht nur nichts an Höhe einbüßen, sondern eher an Höhe etwas gewinnen. Jenseits Texel wird die Höhe der nach Ostnordost fortschreitenden Welle wegen der Reibung und der Ausbreitung ihres Bettes mehr und mehr abnehmen; sie muß aber noch an der jütischen Küste ziemlich erheblich sein, weil sie dort die nun zu besprechende, von Norden kommende Welle aufhebt, derart, daß dort nur ein geringer Flutwechsel vorhanden ist.

Ein Teil der Atlantischen Welle dringt nun im Norden Schottlands durch die breite Straße zwischen Norwegen und Schottland in der Richtung von Nordwesten nach Südosten in die Nordsee ein und bewegt sich, der Bodengestaltung der Nordsee entsprechend, sich mehr an die englische Küste anlehnend, in der tiefen Rinne längs der schottisch-englischen Küste mit etwas wachsender Höhe rasch nach Süden. Bei Yarmouth fängt diese von Norden kommende fortschreitende Welle, welche die Nordseewelle genannt werden möge, an, sich in dem breiten, ziemlich tiefen Becken zwischen der englischen und niederländischen Küste auszubreiten; hierbei wird der nach Südwesten laufende Teil etwas an Höhe einbüßen. Die niederländische Küste wird von dieser Nordseewelle in ihrer ganzen Ausdehnung annähernd zu gleicher Zeit erreicht werden, ohne daß eine Reflexion der Welle stattfinden wird; hingegen dürfte eine nicht unerhebliche Erhöhung der Amplitude der Welle eintreten.

Durch die Straße von Dover tritt die Nordseewelle in den Englischen Kanal ein, und zwar wird sie entsprechend der Richtung der Straße von Dover in erster Linie auf die französische Küste treffen, wo sie ohne Zweifel dazu beitragen wird, den an dieser Küste im allgemeinen höheren Tidenhub hervorzubringen. An der englischen Küste vereinigt sich die Nordwelle mit demjenigen Zweige der Kanalwelle, welche, wie erwähnt, von der Küste des Departements Pas de Calais nach der englischen Küste hinüber reflektiert wird; dadurch wird bewirkt, daß an dieser Küstenstrecke Kanalwelle und Nordseewelle + reflektierter Kanalwelle an Höhe nahezu gleich werden; die letzteren können vielleicht die erstere an Höhe übertreffen.

Was die Höhe der Nordseewelle betrifft, ist anzunehmen, daß dieselbe im Bereiche des Englischen Kanals im allgemeinen niedriger ist als die Kanalwelle, weil sie sich in einem viel weiteren

Bette verbreitet und deshalb durch die Begrenzung weniger beeinflußt wird als diese; allerdings ist die Wassertiefe in der Nordsee im allgemeinen geringer als im Kanal und deshalb die Beeinflussung durch die Tiefenverhältnisse wieder stärker. In der südlichen Nordsee, wo die Kanalwelle, wie oben erwähnt wurde, infolge der plötzlichen Erweiterung des Beckens an der englischen Küste an Höhe erheblich einbüßt, während sie an der belgisch-holländischen Küste ihre ursprüngliche Höhe nicht nur beibehält, sondern teilweise erheblich vermehrt, werden folgende Verhältnisse zu erwarten sein: »Die Kanalwelle ist in der Straße von Dover und längs der belgisch-niederländischen Küste höher als die Nordseewelle, während andrerseits von Norden her bis etwa zur Themsemündung die Nordseewelle die seitliche Ausbreitung der Kanalwelle an Höhe übertrifft. Hiernach muß es eine Linie geben, welche, ausgehend von der Themsemündung, vermutlich ziemlich in der Mitte zwischen beiden Küsten verläuft, auf welcher die Höhen beider Wellen einander gleich sind.«

Indem nun über die Fortpflanzungsrichtung der Welle und über ihre relative Höhe nach den obigen Darlegungen bestimmte Annahmen gemacht werden, gelingt es Börgen bei Anwendung der beim Kreuzen zweier fortschreitender Wellen geltenden theoretischen Ergebnisse alle Erscheinungen der zweiten Gruppe als Folge des Kreuzens der Kanalwelle mit der Nordwelle nachzuweisen. Wenn auch in den von Börgen gemachten Annahmen teilweise eine gewisse Willkür liegt, so darf wohl aus seinen theoretischen Berechnungen der Schluß gezogen werden, daß die Annahme zweier nahezu in entgegengesetzter Richtung fortschreitender Wellen, die sich im Kanal kreuzen, im allgemeinen den beobachteten Tatsachen genügt und daß zumeist eine leidige Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung gefunden wird.

Diese von Börgen gegebene Theorie, die in der Hauptsache von der Annahme ausgeht, daß sowohl von der atlantischen als auch von der Nordseeseite aus fortschreitende Wellen in den Verbindungskanal der zwei Meere einlaufen und sich hier nach Reflexionen kreuzen, ist bisher meines Wissens ohne Widerspruch angenommen worden; wohl in erster Linie deshalb, weil sie in anschaulicher Weise das Entstehen der fortschreitenden Gezeitenwelle im Kanal andeutet, dann aber auch, weil sie in immerhin befriedigender Übereinstimmung mit den Beobachtungstatsachen steht. Dem Hydrodynamiker geht bei der Börgen'schen Theorie manches ab, was für ihn die Theorie erst beweiskräftig macht. Es wird in ihr angenommen, daß eine fortschreitende Gezeitenwelle außerhalb des Verbindungskanal sich in demselben ohne weiteres in der durch die äußere Fortpflanzungsrichtung gegebenen Richtung ohne jegliche Störung weiter ausbreitet, also in diesen als fortschreitende Welle eindringt. Ob das nach den hydrodynamischen Gesetzen möglich ist, müßte die Theorie erst beweisen. Schwingt vor der einen Mündung eines Verbindungskanals das Meer mit einer bestimmten Periode, während bei der anderen Mündung das Meer gezeitenfrei ist, so zeigt die auf die hydrodynamischen Grundgleichungen basierende Theorie (siehe I. Teil, Abschnitt 7, p. 47), daß die Wassermassen des Verbindungskanals in Form einer stehenden Welle mitschwingen, daß also eine fortschreitende Welle gar nicht zur Ausbildung gelangt; hat das Meer vor der zweiten Mündung ebenfalls eine Gezeitenbewegung, so entsteht im Verbindungskanal durch das Mitschwingen der Wassermassen allerdings eine fortschreitende Welle, die sich aber aus zwei stehenden Wellen zusammensetzt, deren jede von den Elementen der Gezeit des einen Meeres abhängig, von jenen des anderen jedoch unabhängig ist. Nach der hydrodynamischen Theorie erzeugt die Gezeit eines Meeres allein im Verbindungskanal eine stehende Welle und nicht, wie Börgen von Anfang an annimmt, eine fortschreitende Welle. Da sich jede fortschreitende Welle in zwei stehende zerlegen läßt, ist der Einwand möglich, es komme eigentlich dann auf dasselbe hinaus, ob man die Rechnung mit einer fortschreitenden oder stehenden Welle beginnt. Das mag richtig sein, aber eine Theorie hat auch die Forderung zu erfüllen, daß sie möglichst einfach sei, was in unserem Falle gewiß nicht der Fall ist, wenn man statt, wie es die Theorie direkt verlangt, mit stehenden Wellen zu beginnen, mit fortschreitenden den Anfang macht. Börgen's Erklärungsversuch geht nicht weit auf die grundlegenden Tatsachen zurück und beginnt die Rechnung gleich mit der erst zu beweisenden Annahme, daß von beiden Seiten fortschreitende Wellen in den

Verbindungskanal eindringen. Vom hydrodynamischen Standpunkte ist sie meiner Ansicht nach zu kompliziert und in vielen Punkten sind die von ihr zu erfüllenden Bedingungen überkompensiert. Einzelne hydrodynamische Grundtatsachen sind außerdem in ihr nicht benützt, die vielleicht bei ihrer Anwendung die Übereinstimmung mit der Theorie wieder stören, so vor allem der Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die angenommenen fortschreitenden Wellen im Kanal. Durch sie werden Phase und Amplitude auf beiden Küsten manchmal bedeutend beeinflußt. Von ihr wird aber in der ganzen Theorie nicht gesprochen, indessen heutzutage von allen der größere Tidenhub an der französischen Kanalküste wohl zum größten Teil der Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation zugeschrieben wird.[1]

Börgen spricht dann überhaupt nie von einem Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit der äußeren Gezeitenbewegung; dieses Mitschwingen kann doch nicht in den fortschreitenden Wellen, die angenommen werden, schon mit einbezogen sein und so ganz ohne Einfluß kann es wohl auch nicht sein! Die Hinzunahme einer Mitschwingungswelle zu der von Börgen berechneten Gezeitenwelle stört aber sofort die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung.

Von hydrodynamischem Standpunkte aus bleibt die Fragestellung im Problem der Gezeiten im Englischen Kanal und in der südwestlichen Nordsee immer dieselbe, wie Airy sie, wie wir bereits erwähnten, schon früher ausgesprochen hat. Die Wassermassen des Atlantischen Ozeans und jene der Nordsee unterliegen vor den Mündungen des Verbindungskanals bestimmten periodischen Gezeitenbewegungen; es fragt sich, was für eine hydrodynamische Wirkung üben diese auf die Wassermassen des Verbindungskanals aus, welche Gezeiten und Gezeitenströme entwickeln sich unter ihrem Einflusse?

Börgen hat, wie anfangs erwähnt, die Fragestellung verworfen, weil manche, und gerade die wichtigsten Ergebnisse der theoretischen Untersuchung mit den beobachteten Erscheinungen »fundamentale« Abweichungen zeigen. Von diesen Abweichungen führt er als wichtigste nur eine an: Die Theorie der Gezeiten in einem solchen Kanal verlangt, daß »überall Hoch-, bzw. Niedrigwasser und Stromwechsel der Zeit nach nahe zusammenfallen müssen, während die Beobachtungen ergeben, daß in dem fraglichen Gebiete der Stromwechsel mit Ausnahme des innersten Teiles des Englischen Kanals, wo besondere Verhältnisse obwalten, etwa drei Stunden — oder eine Viertelperiode — den Extremphasen folgt«[2]

Es ist aber gar nicht richtig, daß die Theorie der Gezeiten in einem solchen Kanal dies verlangt; im Gegenteil, nach der Theorie wird nur in ganz besonderen Fällen Hoch- und Niedrigwasser der Zeit nach mit dem Stromwechsel zusammenfallen und dieses Intervall wird für verschiedene Querschnitte im Verbindungskanal immer andere Werte, die zwischen 0 und 6 Stunden liegen, annehmen. Hierin liegt, wie wir später sehen werden, gewiß keine Schwierigkeit.

Wir wollen daher im folgenden Abschnitt die hydrodynamische Theorie der Gezeiten in dem von uns betrachteten Verbindungskanal zwischen dem Atlantischen Ozean und der Nordsee nach der oben gegebenen Fragestellung zu entwickeln versuchen. Wenn sich herausstellen sollte, daß unter den gegebenen Grenzbedingungen die zur Ausbildung gelangenden Gezeiten und Gezeitenströme mit den beobachteten Tatsachen befriedigend übereinstimmen, so liegt kein Grund vor, diese einfache Erklärung abzulehnen. Warum sollen auch die Gezeiten und Gezeitenströme in diesem Verbindungskanal nicht den hydrodynamischen Gesetzen entsprechen und die Wasserbewegungen sich hier anders verhalten, als die hydrodynamischen Grundgleichungen verlangen? Daß bereits Airy die Tiden im Englischen Kanal als das Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals Atlantischer Ozean—Nordsee mit der äußeren Gezeitenbewegung, ohne auf diese Erklärung näher einzugehen, aufgefaßt hat, habe ich erst nach Abschluß der langwierigen Rechnungen durch die erwähnte Bemerkung Börgen's entdeckt. Daß

[1] Siehe Krümmel, Ozeanographie, II. Aufl., II. Teil, p. 342 und 259.

[2] Siehe Ann. d. Hydrogr. u. marit. Meteor. 1898, p. 467.

Airy, ohne daß ihm nach den damaligen Rechnungsmethoden möglich gewesen wäre, seine Hypothese zu beweisen, daran nicht zweifelte, daß die Gezeiten des Englischen Kanals auf die angedeutete Weise zustande kommen, zeigt von großem Scharfsinn dieses Begründers der Kanaltheorie der Gezeiten.

3. Die Eigenperiode des Verbindungskanals Atlantischer Ozean—Nordsee und die Schwingungsverhältnisse der Nebenbuchten.

Bevor wir uns mit den durch das Mitschwingen der Wassermassen des Englischen Kanals und der südwestlichen Teile der Nordsee hervorgerufenen Bewegungen näher befassen, ist es von Vorteil, sich über die Größe der Eigenperiode des beiderseits offenen Kanals zu orientieren; wissen wir doch, daß in allen diesen Fragen es in erster Linie auf das Verhältnis der Periode der freien Schwingungen zur Periode der erzwungenen Schwingung ankommt und daß es ganz von diesem abhängt, welcher Form die Mitschwingungswelle ist, die zur Ausbildung gelangt. Da die Gestalt- und Tiefenverhältnisse des betrachteten Gebietes ziemlich kompliziert sind, eignet sich wohl nur die japanische Methode zur Ermittlung der Eigenperiode dieses Kanals.

Zu diesem Zwecke wurde senkrecht auf die Mittellinie des Verbindungskanals, welche von der einen zur anderen Mündung eine Länge von 887 *km* besitzt, gleich weit voneinander entfernt 30 Querschnitte gelegt, die demnach 30·6 *km* voneinander abstehen. Sie werden von Westen nach Osten fortschreitend numeriert, derart, daß der Querschnitt 0 die Westmündung des Verbindungskanals, der Querschnitt 29 die Ostmündung darstellt. Für spätere Zwecke wurde es notwendig, innerhalb der Querschnitte 15 bis 20 zwischen je zwei derselben in der Mitte noch je einen einzuschalten; diese wurden der Reihe nach mit 15 *a*, 16 *a*.... bis 19 *a* bezeichnet. Fig. 5 enthält eine Skizze mit der Lage der einzelnen Querschnitte.

Nach den englischen und deutschen Admiralitätskarten wurde nun für jeden Querschnitt die Breite $b(x)$, die Querschnittsfläche $S(x)$ und außerdem noch für spätere Zwecke die Fläche zwischen je zwei Querschnittslinien $v(x)$ mit größtmöglicher Genauigkeit (letztere zwei Flächen auf planimetrischem Wege) ermittelt.

Tabelle 7 enthält in den ersten Kolonnen die Zahlenwerte für die erwähnten Größen; aus Breite und Querschnittsfläche kann man auch die mittlere Tiefe des Kanals an jedem Querschnitt berechnen; sie fand in Tabelle 7 zur Übersicht ebenfalls Aufnahme. Bei den Querschnitten 6 bis 9 findet man für $b(x)$, $S(x)$ und $v(x)$ zwei Werte angegeben. Dies hat folgende Bedeutung. Es hat sich herausgestellt, daß die Wassermassen der Normannischen Bucht betreffs der Schwingungsverhältnisse nicht in unmittelbarer Beziehung zu den Wassermassen des Kanals stehen, sondern besser für sich betrachtet werden sollen. Aus diesem Grunde wurde die ganze Bucht, da sie gesondert behandelt wird, bei der Ermittlung der Größen $b(x)$, $S(x)$ und $v(x)$ das zweitemal ausgeschaltet, indem als südliche Grenze des Kanals zwischen den Grenzen 5 bis 9 eine gerade Linie gewählt wurde, die sich von Le Heaux bis Alderney hinzieht (Querschnitt 5 der Normannischen Bucht). Die zweiten Werte der erwähnten Größen bei den Querschnitten 6 bis 9 beziehen sich auf diese gestutzten Querschnitte 6, 7 und 8. Zur Berechnung der Eigenperiode des ganzen Verbindungskanals wurden selbstverständlich die ersteren Werte benützt.

Tabelle 7 enthält auch die Berechnung der Eigenperiode des betrachteten Kanals nach der japanischen Methode; als mittlere Tiefe des Kanals ergibt sich $h = 45\,m$, während seine Länge 887·4 *km* beträgt. Die einfache Merian'sche Formel liefert sodann für die Periode der freien Schwingung 23·45 Stunden. Die komplizierten orographischen Verhältnisse des Kanals bedingen jedoch ziemlich bedeutende Breite- und Volumskorrekturen, welche beide besonders infolge der Einschnürung des Kanals ungefähr in seiner Mitte (Straße von Dover) positiv ausfallen. Die für die Breiten- und Querschnittsänderung korrigierte Eigenperiode stellt sich auf 29·45 Stunden, übersteigt also 24 Stunden um ein bedeutendes.

Tabelle 7.

Eigenperiode des Verbindungskanals Atlantischer Ozean—Nordsee, (Englischer Kanal) und südwestliche Nordsee.

Querschnitt Nr.	Entfernung vom Nordende *km*	Breite $b(x)$ *km*	Querschnittsfläche $S(x)$ *km²*	$v(x)=\int_{x_1}^{x_2} b(x)\,dx$ *km²*	Mittlere Tiefe in *m*	$\Delta b(x)$ *km*	$\Delta S(x)$ *km²*	$\Delta b(x)\cdot\cos\frac{2\pi x}{l}$	$\Delta S(x)\cdot\cos\frac{2\pi x}{l}$
0	0	177·86	18·58	—	104	+ 10·07	+ 11·02	+ 10·1	+ 11·0
1	30·6	199·67	17·85	5628	90	+ 31·88	+ 10·29	+ 31·2	+ 10·1
2	61·2	158·36	13·88	5441	88	— 9·43	+ 6·32	— 8·6	+ 5·7
3	91·8	174·42	14·33	5031	82	+ 6·63	+ 6·67	+ 5·3	+ 5·3
4	122·4	189·72	13·66	5680	72	+ 21·93	+ 6·10	+ 14·2	+ 4·0
5	153·0	169·83	11·81	6248	70	+ 2·04	+ 4·25	+ 1·0	+ 2·0
6	183·6	205·79 140·01[1]	11·64 9·80[1]	4896 4071[1]	57 70	+ 38·00	+ 4·08	+ 10·2	+ 1·1
7	214·2	227·21 149·21[1]	12·26 8·73[1]	6611 4517[1]	54 59	+ 59·42	+ 4·70	+ 3·3	+ 0·3
8	244·8	234·86 133·11[1]	9·85 7·39[1]	6552 3949[1]	42 56	+ 67·07	+ 2·29	— 10·7	— 0·4
9	275·4	110·16	5·96	6523	54	— 57·63	— 1·60	+ 21·2	+ 0·6
10	306·0	116·28	5·85	3405	50	— 51·51	— 1·71	+ 28·8	+ 1·0
11	336·6	97·16	5·60	3569	57	— 70·63	— 1·96	+ 51·1	+ 1·4
12	367·2	156·06	6·35	4639	41	— 11·73	— 1·21	+ 10·0	+ 1·0
13	397·8	169·07	6·35	5125	37	+ 1·28	— 1·21	— 1·2	+ 1·1
14	428·4	127·76	5·32	5271	42	— 40·03	— 2·24	+ 39·8	+ 2·2
15	459·0	117·05	4·36	3691	37	— 50·74	— 3·20	+ 50·4	+ 3·2
15 *a*	474·4	109·40	3·75	1849	34	— 58·39	— 3·81	—	—
16	489·8	110·16	3·44	1825	31	— 57·63	— 4·12	+ 54·7	+ 3·9
16 *a*	505·2	100·98	2·80	1685	28	— 66·81	— 4·76	—	—
17	520·6	86·45	2·24	1503	26	— 81·34	— 5·32	+ 69·8	+ 4·6

17 *a*	536·0	59·67	1·80	1242	30	— 108·12	— 5·76	—	—
18	551·4	51·26	1·40	889	27	— 116·53	— 6·16	+ 84·7	+ 4·5
18 *a*	566·8	35·31	1·21	632	34	— 132·48	— 6·35	—	—
19	582·2	44·37	1·11	562	25	— 123·42	— 6·45	+ 69·7	+ 3·6
19 *a*	597·6	47·12	1·62	904	25	— 120·67	— 5·94	—	—
20	612·0	129·44	2·26	1621	19	— 38·35	— 5·30	+ 14·4	+ 2·0
21	642·6	138·01	3·14	3963	23	— 29·78	— 4·42	+ 5·0	+ 0·7
22	673·2	150·55	4·02	4930	27	— 17·24	— 3·54	— 0·8	— 0·2
23	703·8	157·59	4·84	5425	31	— 10·20	— 2·72	— 0·3	— 0·7
24	734·4	175·95	5·62	6017	32	+ 8·16	— 1·94	+ 3·8	— 0·9
25	765·0	205·94	6·25	5839	30	+ 38·15	— 1·31	+ 24·6	— 0·8
26	795·6	220·93	6·00	6385	27	+ 53·14	— 1·56	+ 42·1	— 1·2
27	826·2	244·19	6·87	7781	28	+ 76·40	— 0·69	+ 69·1	— 0·6
28	856·8	329·74	7·81	11339	23	+ 161·95	+ 0·25	+ 157·9	+ 0·3
29	887·4	358·—	8·20	11679	23	+ 190·21	+ 0·64	+ 190·2	+ 0·6

$$b_m = 167\cdot79 \quad S_m = 7\cdot56$$

$$\frac{S_m}{b_m} = h = 45\cdot06\ m \qquad \frac{1}{2\,l\,b_m}\int_0^l \Delta\, b\,(x)\cos\frac{2\pi x}{l} = +0\cdot1069$$

$$T = \frac{2\,l}{\sqrt{g\,h}} = 23\cdot45 \text{ Stunden} \qquad \frac{1}{2\,l\,S_m}\int_0^l \Delta\, S\,(x)\cos\frac{2\pi x}{l} = +0\cdot1492$$

$$T = 23\cdot45\,[1 + 0\cdot1069 + 0\cdot1492] = \mathbf{29\cdot45\ Stunden.}$$

[1] Bei Weglassung der Normannischen Bucht; siehe Figur 5.

Da die Periode der erzwungenen Gezeitenbewegung 12·3 Stunden beträgt, erhält man für den betrachteten Verbindungskanal als Verhältnis der Periode der freien Schwingung zur Periode der erzwungenen Schwingung den Zahlenwert $\nu = 2{\cdot}39$. Dies hat für die zur Ausbildung gelangenden, durch die vor den Mündungen herrschenden Gezeiten der freien Meere hervorgerufenen stehenden Wellen eine ganz bestimmte Bedeutung.

Wir haben im I. Teile, Abschnitt 7, p. 47, gesehen, daß bei beiderseits offenen Kanälen, wenn ν einen Zahlenwert zwischen 2 und 3 besitzt, die stehende Welle, welche durch das Mitschwingen mit einem der offenen Meere hervorgerufen wird, innerhalb des Verbindungskanals zwei Knotenlinien

Fig. 5.



aufweist, natürlich jene, die sich bedingungsgemäß an der anderen Mündung des Kanals befindet, nicht mitgerechnet. Je näher ν an 2 liegt, desto näher rückt die zweite Knotenlinie an jene Mündung, bei der das Mitschwingen mit der äußeren Gezeitenbewegung angeregt wird. Da im vorliegenden Falle die Größe ν nahezu in der Mitte zwischen 2 und 3 liegt, dürfte die zweite Knotenlinie immerhin etwas von der einen Mündung abstehen; der ganze Kanal wird auf diese Weise etwa $1^1/_4$ einer ganzen stehenden Welle umfassen. Wir werden im folgenden Kapitel sehen, daß diese Verhältnisse im allgemeinen tatsächlich erfüllt sind.

Wie bereits erwähnt, ist es vorteilhaft, die Schwingungsverhältnisse der Nebenbuchten des Kanals gesondert zu behandeln; in erster Linie kommen hier in Betracht die Normannische Bucht, die Themsemündung, die Washbucht und allenfalls noch die Scheldemündung. Die Wassermassen dieser Buchten werden, angeregt durch die Gezeiten im Kanal, vor ihrer Mündung Schwingungen ausführen, die der Phase und Amplitude nach durch die Gezeiten des Kanals gegeben sind. Im folgenden soll für jede einzelne die Verteilung der Hubhöhen längs der Bucht berechnet werden.

1. Die Normannische Bucht. Die Mündung derselben in den Englischen Kanal bildet die vorhin erwähnte Linie Le Heaux—Alderney. Von dieser aus bis in die innere Bucht von St. Malo sind es 114·75 *km*; diese Strecke wurde in fünf gleiche Teile geteilt und an jeden der sechs Teilpunkte senkrecht auf die Hauptachse der Bucht Querschnitte gezogen; der innere Querschnitt wird mit 0 bezeichnet; jenseits desselben sind noch kleine Wassergebiete, die infolge ihrer Seichtheit bei der Berechnung besser ausgeschaltet werden. Der Querschnitt 5 bildet die Mündung in den Englischen Kanal. Die Lage der Querschnitte gibt Figur 5 schematisch an. Die Ausmessung der für die Berechnung des Mitschwingens benötigten Größen $b(x)$, $S(x)$ und $v(x)$ erfolgte auch hier aus der großen englischen Admiralitätskarte.

Nach der v. Sterneck'schen Methode wurde nun, beginnend beim Querschnitt 0, für jeden Querschnitt die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen 2ξ, die Hubhöhe 2η und schließlich auch die in der halben Periode durch die einzelnen Querschnitte hindurchgeschobenen Wassermassen berechnet, und zwar zunächst unter der Annahme, daß am innersten Ende der Bucht die Hubhöhe 2η gleich 100 *cm* beträgt. Ist die Hubhöhe und Phase an der Mündung bekannt, so läßt sich durch Multiplikation mit einem entsprechenden Proportionalitätsfaktor die Verteilung der Hubhöhe längs der ganzen Bucht berechnen; die Phase ist durch das Vorzeichen der Hubhöhe gegeben.

Tabelle 8 enthält an erster Stelle die Berechnung für die Normannische Bucht (Golf von St. Malo). Die orographischen Verhältnisse der Bucht lassen es nicht zur Ausbildung einer Knotenlinie kommen; die Größe ν muß demnach kleiner als 0·5 sein; hebt sich das Wasser an der Mündung, so hebt es sich gleichzeitig in der ganzen Bucht, und zwar findet eine ganz erhebliche Zunahme der Hubhöhe in den inneren Teilen des Golfes statt. Nach der Rechnung ergibt sich, daß, wenn an der Mündung, wie im Durchschnitt die Küstenorte vor der Mündung im Englischen Kanal, die Hubhöhe 5·8 *m* beträgt, am Querschnitt 0 eine Hubhöhe von 9·1 *m* vorhanden ist. Im innersten Golf von St. Malo, südlich vom Querschnitt 0, wo, wie erwähnt, sich noch sehr seichte Meeresteile vorfinden würde die Rechnung bei Berücksichtigung derselben gewiß Hubhöhen von 12 *m* ergeben. Der außerordentliche Tidenhub der Normannischen Bucht findet demnach ohne weiteres seine Erklärung durch das Mitschwingen der zum Teil abgeschlossenen Wassermassen mit der Gezeitenbewegung im Kanal, das durch Resonanzwirkung wesentlich verstärkt wird. Der nähere Vergleich mit den Beobachtungen folgt in einem späteren Abschnitt.

2. Die Themsemündung. Als Mündung der Themsebucht in die südwestliche Nordsee wurde eine Linie genommen, die von North Foreland bis The Naze hinüberreicht; senkrecht auf die Mittellinie wurden in einer Entfernung von 7·65 *km* voneinander bis nahezu Gravesend sieben Querschnitte gezogen. Breite und Querschnittsfläche sowie die Größe der Oberfläche zwischen je zwei Querschnitten stehen in Tabelle 8 an zweiter Stelle. Wie früher, wurde nun die Verteilung der Hubhöhe und die Größe der horizontalen Wasserverschiebungen für jeden Querschnitt berechnet. Die Tabelle zeigt, daß wenn an der Mündung die Amplitude 75·3 *cm* beträgt, sie am nullten Querschnitt 100 *cm* erreicht Nun findet man bei der Mündung Hubhöhen zwischen 4 und 5 *m*; nimmt man im Durchschnitt 4·5 *m*, so würden in den innersten Teilen der Themsebucht Hubhöhen von nahezu 6 *m* zur Beobachtung gelangen müssen. Dies entspricht vollauf den Beobachtungstatsachen (Gravesend 5·6 *m*, Greenhithe 5·9 *m*).

3. Die Washbucht. Ähnlich liegen die Verhältnisse in der im innersten Teile überaus seichten Washbucht; die Strecke Mündung—innerste Bucht (siehe Figur 5) wurde in sechs Teile geteilt; Breite und Querschnittsfläche der einzelnen Querschnitte enthält Tabelle 8 an dritter Stelle; die Entfernung zweier Querschnitte voneinander beträgt hier 5·55 *km*. Der Berechnung der Hubhöhenverteilung zufolge besteht auch hier das Mitschwingen in einer gleichzeitigen Hebung und Senkung des Wasserspiegels der ganzen Bucht mit der äußeren Gezeitenbewegung. Die Zunahme der Hubhöhe ist in der Washbucht größer als in der Themsemündung, und zwar von 65·1 *cm* an der Mündung auf 100 *cm* im innersten

Teile. Die Beobachtungen geben nahe der Mündung Hubhöhen von 4 bis 5 *m* an, wählt man 4 *m*, so hat theoretisch der nullte Querschnitt eine Hubhöhe von 6·15 *m*. Die Beobachtungen geben Werte zwischen 6 und 6·7 *m*; die Übereinstimmung ist völlig befriedigend.

Bei der Scheldemündung läßt sich eine ähnliche Rechnung nicht leicht durchführen, weil die zahlreichen Kanäle eine Legung von Querschnitten unmöglich machen. Sicherlich findet auch hier durch das Mitschwingen der Wassermassen mit der äußeren Gezeitenbewegung eine Vergrößerung der Hubhöhen in den inneren Kanalteilen statt, und zwar beträgt, wie die Beobachtungen zeigen, die Vergrößerung etwa die Hälfte der äußeren Hubhöhe. Zu einer solchen Anstauung des Wassers in der ganzen Scheldemündung sind bei Berücksichtigung der vielen Inseln etwa 1·8 km^3 Wasser notwendig. Diese Zahl benötigen wir später.

Tabelle 8.

Querschnitt Nr.	Entfernung *km*	Breite b (x) *km*	Querschnittsfläche S (x) km^2	v (x) km^3	q km^2	2ξ *m*	$2\Delta\eta$ *cm*	2η *cm*	2ξ *m*	2η *m*
Normannische Bucht (Golf von St. Malo).										
— 1	innerste Bucht	—	—	—					(0	12·—)
0	0	0	0	—	0	0	—	+ 100·—	0	9·10
1	22·95	30·6	0·18	352	+ 0·352	— 1934	— 9·1	90·9	— 17600	8·30
2	45·90	76·5	1·05	1328	+ 1·559	— 1551	— 7·3	83·6	— 14100	7·60
3	68·85	111·7	2·20	2159	+ 3·464	— 1576	— 7·4	76·2	— 14400	7·00
4	91·80	124·7	4·12	2644	+ 5·479	— 1331	— 6·3	69·9	— 12200	6·40
5	114·75	123·2	5·38	2844	+ 7·467	— 1389	— 6·5	63·4	— 12700	5·80
Themsemündung.										
0	0	3·8	—	—	0	0	—	+ 100·—	0	5·96
1	7·65	7·6	28 10^{-3}	44	+ 0·044	— 1571	— 2·5	97·5	— 9700	5·81
2	15·30	11·4	63 10^{-3}	73	+ 0·115	— 1826	— 2·9	94·6	— 10900	5·62
3	22·95	16·1	88 10^{-3}	106	+ 0·215	— 2443	— 3·8	90·8	— 14500	5·41
4	30·60	27·5	175 10^{-3}	166	+ 0·366	— 2091	— 3·3	87·5	— 12400	5·21
5	38·25	49·0	269 10^{-3}	293	+ 0·622	— 2323	— 3·7	83·8	— 13800	4·99
6	45·90	47·4	346 10^{-3}	368	+ 0·930	— 2688	— 4·2	79·6	— 16000	4·75
7	53·55	49·6	450 10^{-3}	372	+ 1·226	— 2725	— 4·3	75·3	— 16200	4·50
Washbucht.										
0	0	22·2	0	—	0	0	—	+ 100·—	0	6·15
1	5·55	30·7	40 10^{-3}	146	+ 0·146	— 3650	— 4·2	95·8	— 22400	5·89
2	11·10	27·8	81 10^{-3}	162	+ 0·301	— 3716	— 4·2	91·6	— 22900	5·62
3	16·65	24·8	67 10^{-3}	146	+ 0·435	— 6493	— 7·4	84·2	— 39900	5·18
4	22·20	21·8	96 10^{-3}	129	+ 0·544	— 5667	— 6·5	77·7	— 34800	4·78
5	27·75	21·1	105 10^{-3}	118	+ 0·636	— 6057	— 6·9	70·8	— 37300	4·36
6	33·30	31·5	148 10^{-3}	146	+ 0·739	— 4993	— 5·7	65·1	— 30700	4·00

Nachdem wir uns nun über die Schwingungsverhältnisse der einzelnen Buchten, die in den betrachteten Verbindungskanal münden, orientiert haben, schreiten wir zur Berechnung des Mitschwingens der Wassermassen des ganzen Kanals mit den Gezeiten der zwei Meere, die er miteinander verbindet.

4. Das Mitschwingen der Wassermassen des ganzen Kanals mit den Gezeiten der offenen Meere.

Durch die Gezeitenbewegung der äußeren Meere vor den beiden Mündungen des Verbindungskanals angeregt, entsteht, wie die hydrodynamische Theorie (siehe I. Teil, Abschnitt 7, p. 47) lehrt, eine von den Elementen der äußeren Gezeiten abhängige, fortschreitende Welle, welche derart in zwei stehende Wellen zerlegt werden kann, daß eine jede derselben bloß von den Gezeitenelementen eines der offenen Meere abhängt. Jede dieser stehenden Wellen ist nichts anderes als die Mitschwingungszeit, welche sich einstellen würde, wenn das eine der offenen Meere gezeitenfrei angenommen wird, während vor der anderen Mündung das Mitschwingen der Wassermassen erfolgt. Jede dieser stehenden Wellen können wir, wie im I. Teile ausführlich niedergelegt ist, nach der Methode der schrittweisen Berechnung von Hubhöhe und horizontaler Verschiebung der Wasserteilchen zahlenmäßig berechnen. Das Ergebnis dieser Berechnungen steht für beide stehenden Wellen in Tabelle 9.

Man beginnt die Berechnung stets an jenem Ende, das bedingungsgemäß gezeitenfrei, bei dem also $2\eta = 0$ ist, im Falle des Mitschwingens der Wassermassen mit den Gezeiten der Nordsee am nullten Querschnitt, im Falle des Mitschwingens mit den Gezeiten des Atlantischen Ozeans am 29. Querschnitt. Hierbei bleibt in beiden Fällen die Größe q, welche die Wassermenge anzeigt, die während einer halben Periode durch die entsprechende Mündung vom freien Meere aus in den Verbindungskanal eindringt oder aus diesem austritt, zunächst frei; wir setzen sie in den beiden Fällen mit $q = + 20\,km^3$ an. Da die Wassermassen an der Mündung selbst bereits von dem Mitschwingen der Wassermassen des ganzen Kanals beeinflußt sein können, wurde in beiden Fällen knapp vor der Mündung selbst noch ein fiktiver Querschnitt ($0\,a$ beziehungsweise $29\,a$) angenommen und erst von diesem aus, unter der Bedingung, daß hier der Einfluß der Gezeiten des Kanals in der Hubhöhe auf ein Minimum herabsinkt ($2\eta = 0$), die Rechnung begonnen. Nach der bereits oft erwähnten v. Sterneckschen Methode wurde von Querschnitt zu Querschnitt fortschreitend die Größe der horizontalen Wasserverschiebung und die Hubhöhe berechnet sowie jene Wassermenge bestimmt, die in der halben Periode durch die einzelnen Querschnitte hindurchgeschoben wurde. Auf die Vorzeichen der einzelnen Größen ist hierbei besonders zu achten, da von ihnen die Phase der Bewegung abhängt. Die positive Richtung für 2η ist stets vertikal nach oben; die positive Richtung der Größen q und ξ ist aber in beiden Fällen gerade entgegengesetzt; im Falle des Mitschwingens mit der Nordsee ist die positive Richtung der Größen vom Atlantischen Ozean gegen die Nordsee gerichtet, im Falle des Mitschwingens mit dem Atlantischen Ozean hingegen von der Nordsee gegen den Atlantischen Ozean. Das muß für spätere Erörterungen in Erinnerung behalten werden.

Tabelle $9\,a$ enthält die Berechnung der Hubhöhenverteilung im Falle des Mitschwingens mit der Nordsee. Bis zu den Querschnitten 6, 7 und 8 ist gegenüber den früheren Fällen nichts zu erwähnen. bei diesen Querschnitten mündet aber die Normannische Bucht in den Englischen Kanal; findet im letzteren eine periodische Gezeitenbewegung statt, so schwingen die Wassermassen der Normannischen Bucht mit. Dies erfordert aber nach Tabelle 8, daß je nach der Größe der Hubhöhe an der Mündung eine bestimmte Wassermenge der Bucht zugeführt und dem Kanal entzogen wird oder umgekehrt. Die Hubhöhe samt dem richtigen Vorzeichen an den Querschnitten 6, 7 und 8, also an der Mündung der Normannischen Bucht oder am Querschnitt 5 derselben beträgt rund $2\eta = -60\,cm$. Bei dieser Hubhöhe ist aber nach Tabelle 8 die durch den Querschnitt 5 in der halben Schwingungsperiode hindurchgeschobene Wassermenge $q = -7\cdot 1\,km^3$. Diese Menge fällt beim Bestimmen der vertikalen und

Tabelle 9*a*.

Das Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit dem Atlantischen Ozean und mit der Nordsee.

Querschnitt Nr.	q km^3	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm	
(0*a*)	+ 20·—	—	—	0·—	
0	+ 20·—	— 1077	— 6·76	— 6·76	
1	+ 19·62	— 1099	— 6·90	— 13·66	
2	+ 18·88	— 1360	— 8·54	— 22·20	
3	+ 17·76	— 1239	— 7·78	— 29·98	
4	+ 16·06	— 1176	— 7·38	— 37·36	
5	+ 13·73	— 1163	— 7·30	— 44·66	
6	+ 10·81	— 1103	— 6·93	— 51·59	Bei Querschnitt 6, 7, 8 und 9 Mitschwingen des Golfes von St. Malo mit der äußeren Hubhöhe $2\eta = -60\,cm$. Nach Tab. 8 hierzu $q = -7\cdot1$ notwendig; wird aufgeteilt auf Querschnitte 6: — 1·1, 7, 8 und 9 je — 2·0.
7	+ 6·48	— 742	— 4·66	— 56·25	
8	+ 2·26	— 306	— 1·92	— 58·17*	
9	— 1·40	+ 235	+ 1·47	— 56·70	
10	— 3·33	+ 569	+ 3·58	— 53·12	
11	— 5·23	+ 913	+ 5·73	— 47·39	
12	— 7·43	+ 1143	+ 7·18	— 40·21	
13	— 9·49	+ 1495	+ 9·39	— 30·82	
14	— 11·12	+ 2090	+ 13·13	— 17·69	
15	— 11·77	+ 2700	+ 16·96	— 0·73	
15*a*	— 11·78	+ 3141	+ 9·87	+ 9·14	
16	— 11·61	+ 3375	+ 10·60	+ 19·74	
16*a*	— 11·28	+ 4029	+ 12·65	+ 32·39	
17	— 10·79	+ 4817	+ 15·13	+ 47·52	
17*a*	— 10·20	+ 5667	+ 17·80	+ 65·32	
18	— 9·62	+ 6871	+ 21·58	+ 86·90	
18*a*	— 9·07	+ 7496	+ 23·54	+110·44	
19	— 8·45	+ 7613	+ 23·91	+134·34	
19*a*	— 7·23	+ 3545	+ 11·13	+145·47	Bei 19*a* Mitschwingen der Themsemündung mit einer Hubhöhe $2\eta = +148$; hierzu notwendig $q = +2\cdot42$.
20	— 2·45	+ 1084	+ 3·41	+148·88	
21	+ 3·45	— 1099	— 6·90	+141·98	
22	+ 10·45	— 2609	— 16·33	+125·65	
23	+ 18·21	— 3762	— 23·63	+102·02	
24	+ 26·84	— 4776	— 30·00	+ 72·02	Bei 23 und 24 Mitschwingen der Scheldemündung mit einer Hubhöhe $2\eta + 120$; gibt $q = +1\cdot80$; wird aufgeteilt auf 23 und 24 je + 0·9.
25	+ 31·04	— 4967	— 31·19	+ 40·83	
26	+ 33·65	— 5608	— 35·22	+ 5·61	
27	+ 34·09	— 4962	— 31·17	— 25·56	Bei 27 und 28 Mitschwingen der Washbucht mit $2\eta = -35$, ergibt $q = -0\cdot39$.
28	+ 30·80	— 4101	— 25·76	— 51·32	
29	+ 24·81	. 3026	— 19·01	— 70·33	

Tabelle 9*b*.

Das Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit dem Atlantischen Ozean und mit der Nordsee.

Querschnitt Nr.	q km^3	2ξ m	$2\Delta\eta$ cm	2η cm	
(29*a*)	+ 20·—	—	—	0·—	
29	+ 20·—	— 2439	— 15·32	— 15·32	
28	+ 18·21	— 2425	— 15·23	— 30·55	Beim 27. und 28. Querschnitt Mitschwingen der Washbucht mit einer Hubhöhe $2\eta = -31$; ergibt $q = -0·35$.
27	+ 14·39	— 2095	— 13·16	— 43·71	
26	+ 10·99	— 1832	— 11·51	— 55·22	
25	+ 7·46	— 1194	— 7·50	— 62·72	
24	+ 3·80	— 676	— 4·25	— 66·97*	
23	— 0·74	+ 153	+ 0·96	— 66·01	
22	— 4·83	+ 1202	+ 7·55	— 58·46	Bei 23 und 22 Mitschwingen der Scheldemündung mit $2\eta = -68$, ergibt $q = -1·02$; aufgeteilt auf 23 und 22 je $-0·51$.
21	— 7·71	+ 2456	+ 15·42	— 43·04	
20	— 9·42	+ 4168	+ 26·18	— 16·86	
19*a*	— 9·94	+ 6136	+ 19·27	+ 2·41	19*a* Mitschwingen der Themsemündung mit $2\eta = -15$; ergibt $q = -0·25$.
19	— 9·92	+ 8937	+ 28·07	+ 30·48	
18*a*	— 9·90	+ 8182	+ 25·70	+ 56·18	
18	— 9·54	+ 6814	+ 21·40	+ 77·58	
17*a*	— 8·85	+ 4917	+ 15·44	+ 93·02	
17	— 7·69	+ 3433	+ 10·78	+103·80	
16*a*	— 6·13	+ 2190	+ 6·88	+110·68	
16	— 4·26	+ 1238	+ 3·89	+114·58	
15*a*	— 2·17	+ 579	+ 1·82	+116·40	
15	— 0·02	+ 5	+ 0·01	+116·41	
14	+ 4·28	— 805	— 5·05	+111·36	
13	+ 10·15	— 1598	— 10·04	+101·32	
12	+ 15·34	— 2416	— 15·17	+ 86·15	
11	+ 19·34	— 3454	— 21·69	+ 64·46	
10	+ 21·64	— 3700	— 23·23	+ 41·23	
9	+ 23·05	— 3868	— 24·29	+ 16·94	
8	+ 23·83	— 3225	— 20·25	— 3·31	
7	+ 22·40	— 2566	— 16·12	— 19·43	Bei 8, 7 und 6 Mitschwingen des Golf von St. Malo mit einer Hubhöhe $2\eta = -20$; das ergibt nach Tab. 8 $q = -2·3$; wird aufgeteilt 8 : $+0·3$, 7 und 6 je $-1·3$.
6	+ 20·22	— 2063	— 12·96	— 32·39	
5	+ 18·90	— 1600	— 10·05	— 42·44	
4	+ 16·25	— 1190	— 7·47	— 49·91	
3	+ 13·41	— 936	— 5·88	— 55·79	
2	+ 10·60	— 764	— 4·80	— 60·59	
1	+ 7·32	— 410	— 2·58	— 63·17	
0	+ 3·76	— 202	— 1·27	— 64·44	

horizontalen Bewegungen des Wassers in den weiteren Abschnitten des Kanals, also bei der Fortsetzung der beim sechsten Querschnitt unterbrochenen Rechnung sehr ins Gewicht und muß in Rechnung gestellt werden. Die Wasserbewegung wird sich am Querschnitt 5 der Normannischen Bucht in den einzelnen Abschnitten zwischen den Querschnitten 6, 7, 8 und 9 des Kanals ziemlich gleichmäßig verteilen. Deshalb wurden die benötigten $7 \cdot 1\ km^3$, wie in Tabelle 9*a* angegeben, auf die einzelnen Querschnitte aufgeteilt und bei der Fortsetzung der Berechnung der Hubhöhenverteilung im Kanal berücksichtigt. Auf diese Methode gelingt es wenigstens in erster Annäherung den rückwirkenden Einfluß des durch die Gezeiten des Kanals hervorgerufenen Mitschwingens der Wassermassen der Normannischen Bucht auf die ersteren in Rechnung zu ziehen.

Die Rechnung geht nun in gleicher Weise wie früher weiter bis zu dem Querschnittsabschnitt 19*a*—20, bei dem wieder das Mitschwingen der Wassermassen der Themsemündung zu berücksichtigen ist. Die Hubhöhe vor derselben beträgt hier ungefähr $2\eta = +148\ cm$; nach Tabelle 8 erfordert bei einer solchen Hubhöhe das Mitschwingen der Themsemündung eine Wassermenge von $q = +2 \cdot 42\ km^3$, die wieder dem Kanal im Laufe einer ganzen Schwingungsperiode einerseits zugeführt, andrerseits wieder entzogen wird. Bei ihrer Berücksichtigung muß q stets mit dem richtigen Vorzeichen in Rechnung gestellt werden.

Dasselbe wiederholt sich noch bei der Scheldemündung und bei der Washbucht. Der Einfluß des Mitschwingens aller Nebenbuchten auf die Gezeiten des ganzen Verbindungskanals ist immerhin so groß, daß er sich in der Verteilung der Hubhöhen bemerkbar macht. Jede Bucht hat aber nicht dieselbe Bedeutung; jene treten besonders hervor, die ihre Mündung in den Hauptkanal an jenen Stellen haben, die in der Nähe von Schwingungsbäuchen der stehenden Welle liegen. Im vorliegenden Falle hat das Mitschwingen der Wassermassen der Themse- und Scheldemündung wesentlich mehr Einfluß als jenes der ausgedehnten Normannischen Bucht, weil vor den ersteren die Hubhöhe der Kanalgezeit mehr als zweimal so groß ist. Der Einfluß der Washbucht ist gering, da sie in der Nähe einer Knotenlinie der stehenden Längsschwingung zu liegen kommt.

Tabelle 9*b* enthält die analoge Rechnung für das Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit den Gezeiten des Atlantischen Ozeans. Auch hier wurde an den gegebenen Stellen das Mitschwingen der Nebenbuchten berücksichtigt. Hier kommt zufälligerweise dem Mitschwingen der Nebenbuchten nicht jene Bedeutung zu, wie im ersterer Falle. Die Themsemündung und die Normannische Bucht fallen in die Nähe von Knotenlinien und das Mitschwingen der Scheldemündung erfordert, trotzdem es in der Nähe eines Schwingungsbauches erfolgt, nur eine geringe Wassermenge.

Die zur Berechnung des Mitschwingens erforderlichen Hauptgleichungen sind folgende:

$$2\Delta\eta = 6 \cdot 2805\ 10^{-5} \ .\ 2\xi, \text{ wenn } \Delta x = 30 \cdot 6\ km \text{ ist (Querschnitte 1—15 und 20—29)}$$

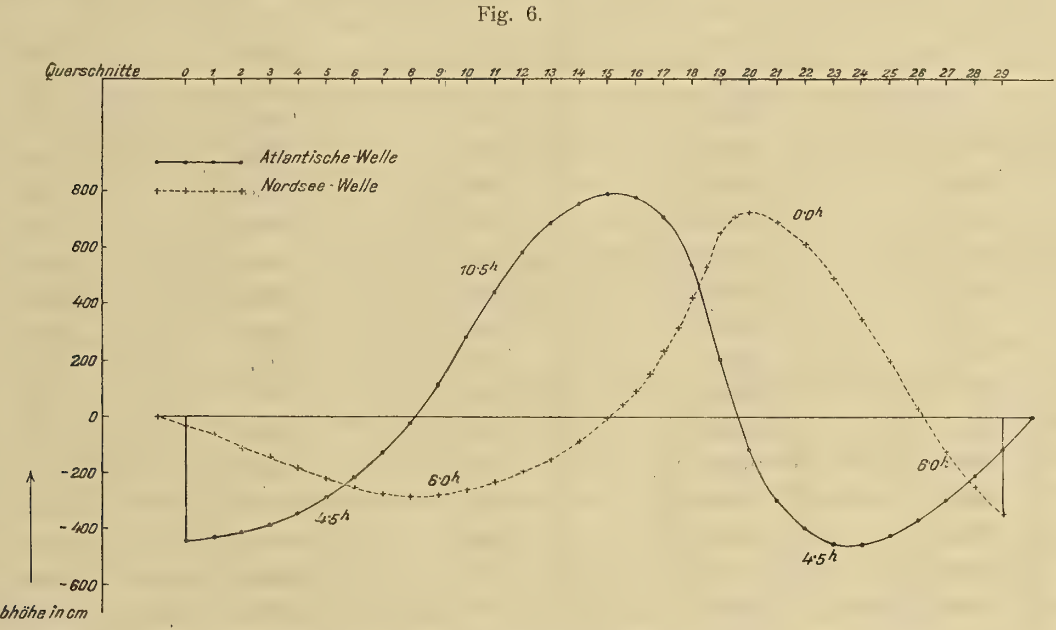
$$2\Delta\eta = 3 \cdot 1402\ 10^{-5} \ .\ 2\xi, \text{ wenn } \Delta x = 15 \cdot 3\ km \text{ ist (Querschnitte 15—20).}$$

Die Verteilung der Hubhöhen und der horizontalen Wasserverschiebung nach Tabelle 9 ist nur eine relative, zu ihr treten nun noch die Grenzbedingungen an den Mündungen, an denen das Mitschwingen von der äußeren Gezeit angeregt wird. Diese Bedingungen besagen, daß an diesen Stellen die Hubhöhe und Phase der Mitschwingungsgezeit mit jener im freien Ozean vor der Mündung zu allen Zeiten übereinstimmen muß. Diese zwei Grenzbedingungen müssen wir den Beobachtungstatsachen entnehmen. Nach den Daten der Tabelle 4 sowie besonders im Falle der Nordseemündung, nach der graphischen Darstellung der Gezeiten im Verbindungskanal in Figur 9 werden wir uns von der Wirklichkeit nicht besonders weit entfernen, wenn wir für die Mitte des Kanals vor der Westmündung im Atlantischen Ozean eine Hubhöhe von 440 *cm* und eine Hafenzeit von $4 \cdot 5^h$ (Mondstunden), hingegen vor der Ostmündung in der Nordsee (beim Querschnitt 28) eine Hubhöhe von 250 *cm* und eine Hafenzeit von $6 \cdot 0^h$ (Mondstunden) annehmen. Die letztere Annahme ist schwieriger, da im Bereiche der

Amphidromie auf keine größere Strecke eine einheitliche Hubhöhe und Phase herrscht. Wir glauben aber nicht fehl zu gehen, wenn wir einen Punkt in der Mitte des Kanals als charakteristisch für die dort herrschenden Gezeitenbewegungen wählen.

Um Übereinstimmung mit diesen Grenzbedingungen zu erzielen, müssen wir die Werteverteilung der Tabelle 9*a* mit dem Faktor $\frac{250}{51 \cdot 32} = 4 \cdot 86$ und jene der Tabelle 9*b* mit dem Faktor $\frac{440}{64 \cdot 44} = 6 \cdot 83$ multiplizieren. Die sich daraus ergebende Verteilung der Hubhöhen und die durch das Vorzeichen der Hubhöhe fixierte Phase der Bewegung sowie die Verteilung der horizontalen Wasserbewegung sowie ihrer Phase stehen für beide Wellen in Tabelle 10; dies sind die Komponenten der Mitschwingungsgezeit des Verbindungskanals mit der äußeren Gezeitenbewegung. Figur 6 enthält ihre graphische Darstellung.

Fig. 6.



Längsschwingungen im Verbindungskanal Atlantischer Ozean—Nordsee als Komponenten des Mitschwingens der Wassermassen desselben mit der äußeren Gezeitenbewegung.

Wie wir bereits aus dem Zahlenwert des Verhältnisses ν schließen konnten, weist jede dieser stehenden Wellen außer der bedingungsweise an einem Ende vorhandenen Knotenlinie noch zwei weitere auf. Bei der Atlantischen Welle fällt die erste Knotenlinie, wenn wir von Westen nach Osten vorrücken, zwischen den Querschnitten 8 und 9, also (siehe Fig. 5) knapp vor der durch die Halbinsel Cotentin verursachten Verengung des Englischen Kanals, die zweite hingegen, beim Querschnitt 19*a*, beim Austritt der Straße von Dover in die Nordsee. Die Phase der vertikalen Wasserbewegung ist zwischen diesen zwei Knotenlinien $10 \cdot 5^h$, gerade entgegengesetzt der Phase im westlichen Teil des Englischen Kanals und in der Nordsee. Die Hubhöhe erreicht beim Querschnitt 15 ein Maximum von nahezu 8 *m*; das zweite Maximum in der Nordsee ist wesentlich kleiner und übersteigt nur wenig 4 *m*.

Die Nordseewelle hat eine etwas andere Gestalt; vor allem zeigt sie bereits eine Knotenlinie zwischen den Querschnitten 26 und 27, also ziemlich nahe der Ostmündung, noch weit draußen in den Hoofden; dann steigt die Hubhöhe rasch an und erreicht ein Maximum von etwa 7 *m* vor der Straße von Dover, nicht unweit der Stelle, an der die Atlantische Welle die zweite Knotenlinie aufweist. Der hierauf erfolgende Abfall ist noch rascher als der Anstieg war, derart, daß schon beim Querschnitt 15 die Nullinie erreicht wird. Diese zweite Knotenlinie fällt zusammen mit dem ersten Maximum der Atlantischen Welle. Der innerste Ast der Nordseewelle ist nur schwach ausgebildet, indem das Maximum

Tabelle 10.

Die Atlantische Welle und die Nordseewelle und ihre Zusammensetzung.

Querschnitt Nr.	Atlantische Welle Annahme: beim Querschnitt 0 $2\eta = 440\,cm$, Phase $= 4\cdot5^h$				Nordseewelle Annahme: beim Querschnitt 28 $2\eta = 250\,cm$, Phase $= 6\cdot0^h$				Zusammensetzung der beiden Wellen	
	2η *cm*	Phase	2ξ *m*	Phase	2η *cm*	Phase	2ξ *m*	Phase	Hubhöhe *cm*	Phase Stunden
—	—		—		0		—		—	—
0	440		1380		— 33		5250		463	$4\cdot59^h$
1	431		2800		— 67		5355		482	4·69
2	414		5220		— 108		6600		497	4·80
3	381	$4\cdot5^h$	6390		— 146		6030	$6\cdot0^h$	496	4·90
4	341		8130		— 182		5730		488	5·01
5	290		10930		— 217		5640		471	5·14
6	221		14070	$4\cdot5^h$	— 251		5350		436	5·30
7	133		17550		— 273	$6\cdot0^h$	3610		379	5·52
8	23		22200		— 283		1490		300	5·83
9	115		26430		— 276		1140		211	6·75
10	281		25270		— 258		2770		208	8·45
11	441		23560		— 230		4440		323	9·49
12	589		16530		— 195		5540		471	9·93
13	691		10930		— 150		7270		592	10·16
14	761		5500		— 86		10160		679	10·26
15	795		30		— 3		13120		791	10·49
15*a*	795	$10\cdot5^h$	3950		44		15260	$0\cdot0^h$	828	10·57
16	781		8470		96		16400		854	10·65
16*a*	755		14960		157		19590		874	10·75
17	708		23430		231		23430		888	10·85
17*a*	635		33600		317		27560		888	10·95
18	530		46510	$10\cdot5^h$	422		33390		880	11·16
18*a*	383		55870		537		36430		852	11·38
19	208		61060		653	$0\cdot0^h$	36990		812	11·65
19*a*	17		41930		707		17230		720	11·97
20	115		28480		723		5250		638	0·24
21	293		16800		689		5350		524	0·78
22	400		8200		610		12680		433	1·36
23	451		1040		496		18270		365	2·03
24	458		4620		350		23230		325	2·85
25	428	$4\cdot5^h$	8130		198		24150	$6\cdot0^h$	321	3·64
26	377		12500		27		27260		358	4·40
27	298		14340	$4\cdot5^h$	— 124		24150		397	4·92
28	209		16600		— 249		19930		403	5·30
29	104		16665		— 343	$6\cdot0^h$	18520		424	5·63
—	0		—		—		—		—	—

der Hubhöhe nicht ganz 3 *m* erreicht. Er fällt wieder auffallenderweise nahe zusammen mit der ersten Knotenlinie der atlantischen Welle.

Die Zusammensetzung dieser zwei stehenden Wellen ist die theoretische Mitschwingungsgezeit der Wassermassen des Verbindungskanals der Ozeane mit ihren Gezeiten; daß diese Zusammensetzung eine ziemlich komplizierte fortschreitende Welle ergeben wird, läßt sich leicht einsehen. Hubhöhe und Phase der Gezeit an jedem Querschnitt enthält Tabelle 10 in den letzten zwei Kolonnen.

Sehen wir uns zunächst die Hubhöhe an und beginnen hierbei bei der Westmündung; von Werte 4·40 *m* an der Mündung wächst sie, aber nur wenig, bis zu den Querschnitten 2 und 3, wo sie nahezu 5 *m* erreicht; dann fällt sie regelmäßig bis zum Querschnitt 10 auf etwa 2 *m* und steigt dann zuerst rasch, dann langsamer auf nahezu 9 *m* bei den Querschnitten 17 und 18 an, fällt dann wieder langsam, nach dem Querschnitt 20 rasch, auf ein Minimum von etwa 3 *m* beim Querschnitt 25 ab und steigt dann wieder etwas bis zur Ostmündung. Man findet also längs des ganzen Kanals zwei Minima, das erste bei der durch die Halbinsel Cotentin und den südenglischen Vorsprüngen bei der Insel Wight bedingten Enge, das zweite in den Hoofden, nördlich der Scheldemündung. Zwischen beiden liegt ein bedeutendes Maximum der Hubhöhe im Englischen Kanal vor der Straße von Dover.

Das ist aber gerade die Verteilung der Hubhöhe, wie wir sie aus den Beobachtungstatsachen her kennen. Genau an denselben Stellen fanden wir Maxima und Minima der vertikalen Bewegung, und wenn wir Mittelwerte zwischen den Hubhöhen der Nord- und Südküste bilden, können wir uns überzeugen, daß auch die Größen der Amplituden genügend genau übereinstimmen. Diese auffallende Übereinstimmung zeigt doch, daß das Mitschwingen der Wassermassen des Kanals mit den äußeren Gezeiten einen wesentlichen Einfluß auf die Ausbildung der Gezeiten im Kanal nimmt.

Aber nicht nur die Hubhöhen, auch die Verteilung der Phase (Hafenzeit) der vertikalen Bewegung weist eine befriedigende Übereinstimmung mit den Beobachtungstatsachen auf, wenn wir bedenken, daß die bisher gefundene fortschreitende Welle noch nicht die theoretische Gezeit des Verbindungskanals darstellt. Von Westen nach Osten fortschreitend, findet man zuerst eine langsame, dann vor der Verengung im Kanal eine rasche Verspätung der Hafenzeiten, die sodann im östlichen Teile des Englischen Kanals in einem weitausgedehnten Gebiete vor der Straße von Dover nahezu konstant an etwa $10{\cdot}5^h$ (Mondstunden) bleibt. Bis zur Enge von Dover ist die Übereinstimmung zwischen den Beobachtungstatsachen — Nord- und Südküste sind zunächst den Querschnitten entsprechend zu vereinigen — und den aus der Zusammensetzung der stehenden Wellen gefolgerten Werten völlig befriedigend. In der Straße von Dover verspätet sich der Eintritt des Hochwassers immer mehr von $10{\cdot}5^h$ bis 12^h vor der Themsemündung, wie es auch die Beobachtungstatsachen verlangen; dann geht die Verspätung regelmäßig weiter bis zur Ostmündung, wo man $5{\cdot}6^h$ findet. Im letzteren Gebiet, in welchem die Beobachtungen eine Amphidromie der Flutstundenlinien zeigen, konnte keine Übereinstimmung erwartet werden da die Superposition von zwei stehenden Längsschwingungen nie zur Ausbildung einer Amphidromie Veranlassung gibt. Und trotzdem, da letztere dem erst zu besprechenden Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation zuzuschreiben ist, ersieht man aus der Verteilung der Hafenzeiten in diesem Kanalteil, daß die Grundlagen für die spätere Erklärung der Amphidromie richtig gegeben sind, so daß man hoffen kann, daß die Berücksichtigung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die Bewegung der Wasserteilchen in den Längsschwingungen die komplizierte Verteilung der Flutstundenlinien dieses Meeresteiles richtig ergeben wird.

Es besteht aber schon jetzt kein Zweifel, daß das Mitschwingen der Wassermassen des ganzen Verbindungskanals mit den Gezeiten der äußeren Meere vor den Mündungen von wesentlicher Bedeutung für die Gezeiten des Verbindungskanals ist. Wir wollen nun die Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die oben berechneten Längsschwingungen im Verbindungskanal berücksichtigen.

5. Der Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die Längsschwingungen im Verbindungskanal.

Auf die mit den Längsschwingungen im Verbindungskanal verbundenen horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen wirkt die ablenkende Kraft der Erdrotation. Es ist im I. Teil gezeigt worden, wie die Wirkung dieser Kraft in erster Annäherung berücksichtigt werden kann. Zu den Längsschwingungen treten noch Querschwingungen, die einerseits von der Größe der horizontalen Verschiebung in der Längsschwingung und von der Phase der letzteren, andrerseits von der Größe des Querschnittes abhängen. Die Querschwingungen sind deshalb von Querschnitt zu Querschnitt verschieden. Die Gestalt des Querschnittes selbst, die Form der bathymetrischen Kurve hat natürlich ebenfalls einen Einfluß auf die Hubhöhenverteilung in der Querschwingung, wir haben aber im I. Teile gezeigt, daß man sich wohl, wenn der Kanal nicht zu breit ist, in erster Annäherung begnügen kann, statt der tatsächlichen bathymetrischen Kurve ein entsprechendes Rechteck zu nehmen. Mit dieser Annäherung wollen wir uns auch im vorliegenden Falle begnügen. Wir müssen noch erwähnen, daß diese Berücksichtigung des Einflusses der ablenkenden Kraft der Erdrotation nur dann Anspruch erheben kann, denselben angenähert richtig anzugeben, wenn die Eigenperiode des Querschnittes in seiner Querrichtung wesentlich kleiner ist als die Periode der Gezeiten; denn nur in diesem Falle befriedigt, wie im I. Teile näher auseinandergesetzt ist, die gefundene Lösung bei einigen unbedeutenden Vernachlässigungen die hydrodynamischen Gleichungen. Für den Fall, als die Eigenperiode des Querschnittes der Periode der Gezeiten ziemlich nahekommt, haben die entsprechenden Differentialgleichungen noch keine Lösung gefunden, und wir können nicht angeben, welcher Form die zustande kommende Bewegung der Wassermassen ist; wir können allerdings angenähert voraussagen, wie die Art der Schwingungen ausfallen dürfte, jedoch nicht über die Größe der Hubhöhe und über die Phase der Gezeit an den einzelnen Stellen.

Die Hubhöhe der Querschwingungen ist nach Gleichung 40 im I. Teil, Abschnitt 6, gegeben durch die Formel $2\bar{\eta} = \frac{4\,\omega\, b \sin\varphi}{T_\varkappa\, g\, \nu}\, tg\, \nu \frac{\pi}{2} \,.\, 2\xi$. Die Konstante $\frac{4\,\omega \sin\varphi}{T_\varkappa\, g}$ hat im vorliegenden Falle den Zahlenwert (*m*, sec) $5.218\; 10^{-10}$; ν ist das Verhältnis der Eigenperiode des Querschnittes $T_f = \frac{2b}{\sqrt{gh}}$ zur Periode der Gezeiten $T_\varkappa = 12{\cdot}3$ Stunden. 2ξ ist die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen in der Längsschwingung am betrachteten Querschnitt und ist für beide stehenden Längsschwingungen der Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 11 enthält in der zweiten Kolonne die Eigenperiode der einzelnen Querschnitte. Bis zum Querschnitt 23 ist sie stets kleiner als 5 Stunden; im allgemeinen liegt sie nahe bei 3 Stunden; sie ist also wesentlich kleiner als die Periode der Gezeiten, beziehungsweise der Längsschwingungen. Es bestehen demnach für diesen Teil des Kanals keine Bedenken, die obige erste Annäherung zu benutzen und die Hubhöhe und Phase der Querschwingung danach zu berechnen. Nach dem 23. Querschnitt aber steigt für die folgenden Querschnitte die Eigenperiode rasch an und erreicht beim Querschnitt 28, also nahe der östlichen Mündung des Verbindungskanals, die Periode der Längsschwingungen, nämlich 12·3 Stunden. Für diesen Kanalteil wird es deshalb kaum angehen, die erwähnte Näherung zu benutzen, da sie zunächst sehr bedeutende Hubhöhen, später, bei den Querschnitten 28 und 29, gar unendlich große ergeben würde. Für diesen Kanalteil, wenigstens für jenen Teil nördlich des 26. Querschnittes, werden wir demnach leider verzichten müssen, die Querschwingungen zu berechnen. Der Gang der Hubhöhen und die im südwestlich angrenzenden Kanalteil sich einstellende Verteilung der Hafenzeiten läßt aber keinen Zweifel auftreten, wie die tatsächlich zur Ausbildung gelangenden Schwingungen auch in diesem äußersten Kanalteil aussehen würden, so daß eine Extra-, beziehungsweise eine

Tabelle 11.

Querschwingungen als Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation und ihre Zusammensetzung mit den Längsschwingungen.

Querschnitt Nr.	$T_f = \frac{2b}{\sqrt{gh}}$ in Stunden	$\nu = \frac{T_f}{T_x}$	$\frac{4\omega b \sin\varphi}{T_x g \nu} \operatorname{tg} \nu \frac{\pi}{2}$	Querschwingungen bedingt durch die				Zusammensetzung derselben	
				Atlantische Welle		Nordseewelle			
				Hubhöhe *cm*	Phase an der Nordküste	Hubhöhe *cm*	Phase an der Nordküste	Hubhöhe *cm*	Phase an der Nordküste
0	3·1	0·25	1440.10^{-7}	19		79		67	9·36^h
1	3·7	0·30	1777	42		80		58	10·03
2	3·0	0·25	1286	80		109		77	10·65
3	3·4	0·28	1036	99		94	9·0^h	74	11·37
4	3·9	0·32	1698	128		91		90	11·98
5	3·6	0·29	1499	161		83		118	0·51
6	2·9	0·24	1206	188	1·5^h	72		146	0·82
7	3·5	0·29	1315	214		44		186	1·18
8	3·2	0·26	1152	251		17		238	1·40
9	2·6	0·21	936	269		12		277	1·56
10	2·9	0·24	976	231		25		249	1·64
11	2·3	0·19	826	230		43		264	1·72
12	4·3	0·35	1432	213		71		268	1·86
13	4·9	0·39	1596	152		101		234	2·09
14	3·5	0·29	1129	69		126		182	2·49
15	3·4	0·28	1026	0		135		135	3·00
15*a*	3·3	0·27	950	39		159		134	3·40
16	3·5	0·29	970	79		154	3·0^h	113	3·90
16*a*	3·4	0·28	891	137		168		120	4·79
17	3·0	0·25	732	166		166		127	5·24
17*a*	1·9	0·15	499	184		151		132	5·69
18	1·8	0·15	429	186	7·5^h	136		132	5·94
18*a*	1·1	0·09	291	201		131		142	6·15
19	1·5	0·12	371	244		148		175	6·27
19*a*	2·3	0·19	543	303		124		232	6·76
20	5·3	0·43	1259	295		55		260	7·22
21	5·1	0·42	1325	225		72		281	7·85
22	5·1	0·42	1450	116		180		307	8·22
23	5·0	0·41	1502	16		285		327	8·93
24	5·5	0·45	1742	84		425	9·0^h	371	9·30
25	6·6	0·54	2247	184		544		428 (342)	9·57
26	7·5	0·61	2790	349	1·5^h	761		570 (400)	9·85
27	8·2	0·67	3328	476		810		586 (420)	10·17
28	12·2	0·98	—	—		—		— (350)	(11·0)
29	13·3	1·18	—	—		—		— (200)	(11·5)

Intrapolation nicht so gewagt erscheinen wird; müssen doch an der Ostmündung des Verbindungskanals die Gezeiten desselben stetig in jene der Nordsee, die bedingungsgemäß aus den Beobachtungen gegeben sind, übergehen. Das fehlende kleine Kanalstück läßt sich derart wohl leicht ersetzen.

Die vierte Kolonne der Tabelle 11 enthält die Faktoren, mit denen die Größen 2ξ der Tabelle 10 multipliziert werden müssen, um die Hubhöhen der Querschwingungen sowohl der Atlantischen als auch der Nordseewelle zu erhalten. Die Phase der Querschwingungen ist durch die Phase der horizontalen Verschiebungen der Längsschwingungen gegeben, und zwar ist sie an der Nordküste, wie die Theorie und eine kleine Überlegung lehren, bei den Querschwingungen der atlantischen Welle um 3^h gegenüber der Phase der horizontalen Verschiebungen verfrüht, bei den Querschwingungen der Nordseewelle hingegen um 3^h gegenüber der Phase der horizontalen Verschiebungen der letzteren verspätet. Tabelle 11 enthält für beide Wellen sowohl die Verteilungen der Hubhöhen als auch die Phase der Querschwingungen für jeden Querschnitt.

Die Hubhöhen der Querschwingungen sind dank der kräftigen horizontalen Verschiebungen der Wassermassen im Kanal ziemlich beträchtlich; sie übersteigen aber auch an den extremen Stellen nicht 3 *m*. An den Maxima der Hubhöhe der Längsschwingung, wo bekanntlich die horizotalen Verschiebungen der Wassermassen auf Null herabsinken, verschwinden auch die Querschwingungen. Dies tritt bei den Querschwingungen der Atlantischen Welle bei den Querschnitten 5 und 23, bei den Querschwingungen der Nordseewelle bei den Querschnitten 8 und 9 und 20 und 21 auf. Auf beiden Seiten dieser Querschnitte ändert sich die Phase der Querschwingungen um 6 Stunden.

Die letzten zwei Kolonnen der Tabelle 11 enthalten schließlich die Superposition der zwei Querschwingungssysteme; auffallenderweise heben sich die Querschwingungen an großen Strecken des Kanals teilweise gegenseitig auf, derart, daß die resultierenden Querschwingungen im allgemeinen kleinere Hubhöhen aufweisen als die einzelnen Komponenten. Wie zu erwarten war, findet man Maxima der Hubhöhe dort, wo die Hubhöhe der resultierenden Längsschwingung auf ein Minimum herabsinkt, hingegen Minima der Hubhöhe dort, wo jene der resultierenden Längsschwingung Maxima aufweist. Maxima der Hubhöhe weisen die Querschwingungen der Querschnitte 9 bis 12 und 23 bis 25, Minima hingegen die Querschnitte 16 bis 17*a* auf; an den ersteren Stellen fanden wir in der Längsschwingung Minima der Hubhöhen (beim 10. und 25. Querschnitt), an den letzteren hingegen das Maximum der Längsschwingung (bei den Querschnitten 17 und 17*a*).

Abgesehen von den Querschnitten jenseits des 23. liegt die Hubhöhe stets unter 3 *m*. Die Phase der Querschwingungen an der Nordküste des Verbindungskanals (an der Südküste ist sie stets um 6 Stunden größer) wächst kontinuierlich von Westen gegen Osten. An der Westmündung findet man $9\cdot5^h$, in der durch die Halbinsel Cotentin verursachten Enge etwa $1\cdot5^h$, in der Straße von Dover $6\cdot5^h$ und in den Hoofden $9\cdot0^h$; an der Ostmündung dürfte etwa $11\cdot5^h$ als Hafenzeit der Querschwingungen zu erwarten sein.

Für die Hubhöhen im Kanalteil jenseits des 23. Querschnittes wurden in Tabelle 11 in Klammern Werte angesetzt, die für die Querschnitte 25, 26 und 27 um etwa 20 Prozent kleiner sind als die theoretisch berechneten, die aber sicherlich wegen der Unzulänglichkeit der Theorie an dieser Stelle zu groß sind; die Werte der Querschnitte 28 und 29 werden extrapoliert, um für spätere Zwecke mit bestimmten Zahlenwerten rechnen zu können.

Die Querschwingungen, welche durch Tabelle 11, sowohl was Hubhöhe als auch was Hafenzeit betrifft, gegeben sind, stellen den Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die durch das Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit den äußeren Gezeiten bedingten Längsschwingungen dar. Die Größe der Hubhöhen beweist, daß man diesen Einfluß nicht vernachlässigen darf und daß er wesentlich dazu beitragen wird, die Verteilung der Hubhöhen und die Anordnung der Flutstundenlinien im betrachteten Verbindungskanal beider Meere zu bestimmen.

6. Die theoretischen Gezeiten des Verbindungskanals bei nicht berücksichtigten Reibungseinflüssen. Vergleich mit den Beobachtungstatsachen.

Die Zusammensetzung der Längsschwingungen mit den Querschwingungen an den einzelnen Querschnitten liefert die theoretischen Gezeiten des Verbindungskanals Atlantischer Ozean—Nordsee. Das Ergebnis dieser Zusammensetzung steht in Tabelle 12, und zwar sowohl für die Nord- als auch für die Südküste des betrachteten Kanals. In der Diskussion dieser theoretischen Gezeiten beginnen wir an der Südseite der Westmündung, wo in befriedigender Übereinstimmung mit den Beobachtungen am Querschnitt 0 eine Hafenzeit von etwas weniger als $4 \cdot 5^h$ (Mondstunden) und eine gegenüber der beobachteten von etwa 6 *m* etwas zu kleine Hubhöhe von 5·2 *m* zu finden ist. Gegen Osten längs der französischen Küste des Englischen Kanals fortschreitend, zeigt die Hubhöhe eine Zunahme, die allerdings nicht so groß ist wie jene, welche die Beobachtungen aufweisen, für welch letztere aber zum Teil wohl die in den tief eingeschnittenen Buchten liegenden Häfen, in denen meistens eine Steigerung der Hubhöhe gegenüber dem freien Meere stattfindet, mitverantwortlich sind. Diese Zunahme hält in der theoretischen Verteilung nicht lange an (Hubhöhen bis zu 6 *m*), geht dann bald in ein langsames Fallen über. Das Minimum wird mit 4·5 *m* beim Querschnitt 10 erreicht. Die Beobachtungen (siehe Figur 9) geben uns leider keine Werte für die Hubhöhen an der Mündung der Normannischen Bucht in den Englischen Kanal, aber aus den Endwerten ersieht man, daß auch die Beobachtungen eine allmähliche Abnahme der Hubhöhe beim Fortschreiten von Westen nach Osten erwarten lassen und daß ein Minimum derselben zwischen Cap la Hague und Cap Bafleur mit etwa 5 *m* eintritt. Die Übereinstimmung mit den Beobachtungen ist demnach hier sehr gut.

Weiter längs der französischen Küste fortschreitend, steigt nach der Theorie die Hubhöhe wieder allmählich an und erreicht ein Maximum mit etwa 10 *m* bei den Querschnitten 17 und 18, worauf in der Straße von Dover und östlich davon die Hubhöhe wieder auf etwa 7·5 *m* herabgeht. Auch die Beobachtungen ergeben dasselbe Verteilungsbild. Hier tritt das Maximum beim Querschnitt 17 mit etwa 9 *m* auf, worauf der Abfall in der Straße von Dover und östlich davon bis zu Werten von 6 *m* führt.

Nicht nur für die Verteilung der Hubhöhen, die für die Beobachtungsstationen in der Nähe der Küste immerhin lokal etwas beeinflußt sein können, besteht die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung; noch besser ist dieselbe für die Hafenzeiten. Die Theorie ergibt zwischen dem 3. und 4. Querschnitt eine Hafenzeit 5^h, die Beobachtungen ebenfalls zwischen dem 3. und 4. Querschnitt. Die Hafenzeit 6^h fällt theoretisch zwischen die Querschnitte 6 und 7; die Beobachtungen ergeben sie beim Querschnitt 6. Dann ändert sich der Theorie gemäß die Hafenzeit rasch, indem zwischen dem 8. und 9. Querschnitt die Hafenzeit 7^h, beim Querschnitt 10 die Hafenzeit 8^h, zwischen dem 11. und 12. hingegen bereits die Hafenzeit 9^h eintritt. Genau dasselbe ergeben auch die Beobachtungstatsachen. Die Übereinstimmung ist hier ausgezeichnet und sie bleibt es, wie der Vergleich der Tabelle 12 mit den Werten der graphischen Darstellung der Beobachtungstatsachen in Figur 9 zeigt, bis zur Straße von Dover. Die hydrodynamische Theorie wird also allen Erscheinungen an der französischen Küste des Englischen Kanals in befriedigender Weise gerecht.

Wie steht es an der Nordküste? Betrachten wir die Hubhöhenverteilung, so finden wir wieder eine ausgezeichnete Übereinstimmung, namentlich wenn wir besonderes Gewicht auf den Gang der Zahlenwerte legen. Daß die Zahlenwerte der Hubhöhen in der Theorie etwas niedriger ausfallen als die beobachteten Werte, ist nicht auffallend, ja sogar zu erwarten. Die Theorie rechnet, was die Längsschwingung betrifft, mit den vertikalen Verschiebungen der Oberfläche eines ganzen Querschnittes und die theorethisch erhaltenen Zahlenwerte sind eigentlich Mittelwerte für den ganzen Querschnitt. Daß aber tatsächlich in den küstennahen Meeresteilen die Hubhöhe stets etwas größer als im offenen Meere ist, ist eine erwiesene Tatsache.

Tabelle 12.

Die theoretischen Gezeiten im Verbindungskanal Atlantischer Ozean—Nordsee bei nicht berücksichtigten Reibungseinflüssen.

Zusammensetzung der Längs- und der Querschwingungen.

Querschnitt Nr.	Nordküste		Südküste		Querschnitt Nr.	Nordküste		Südküste	
	Hubhöhe *m*	Phase (Hafenzeit) Stunden	Hubhöhe *m*	Phase (Hafenzeit) Stunden		Hubhöhe *m*	Phase (Hafenzeit) Stunden	Hubhöhe *m*	Phase (Hafenzeit) Stunden
0	4·10	4·77	5·20	4·44	16*a*	7·69	10·74	9·98	10·76
1	4·28	4·77	5·38	4·62	17	7·65	10·79	10·15	10·90
2	4·18	4·83	5·61	4·78	17*a*	7·69	10·82	10·16	11·04
3	4·25	4·82	5·69	4·96	18	7·61	11·03	10·02	11·26
4	4·12	4·81	5·69	5·16	18*a*	7·22	11·23	9·81	11·49
5	3·89	4·75	5·62	5·40	19	6·49	11·48	9·82	11·76
6	3·50	4·72	5·45	5·66	19*a*	5·14	11·62	9·38	0·15
7	2·94	4·56	5·18	6·05	20	4·29	11·67	8·71	0·52
8	2·22	4·10	4·93	6·52	21	3·23	11·86	7·78	1·15
9	1·22	3·08	4·77	7·22	22	2·05	0·00	7·22	1·72
10	1·08	11·77	4·45	8·02	23	1·55	11·90	6·72	2·46
11	2·68	11·23	5·22	8·70	24	0·55	10·22	6·99	3·23
12	4·12	11·15	6·42	9·21	25	(1·06) 0·60	(9·31) 8·90	(7·51) 7·01	(3·61) 3·61
13	5·28	10·93	7·32	9·62	26	(2·49) 1·16	(9·03) 7·82	(9·20) 7·51	(4·06) 4·10
14	6·53	10·51	8·91	9·81	27	(2·64) 1·61	(9·00) 7·82	(9·64) 7·72	(4·47) 4·53
15	7·02	10·75	8·91	10·29	28	— 0·80	— 6·77	— 7·49	— 5·16
15*a*	7·21	10·78	9·38	10·41	29	— 1·05	— 6·29	— 7·97	— 5·60
16	7·48	10·75	9·59	10·58					

In Übereinstimmung mit den Beobachtungstatsachen ergibt die Theorie ein Minimum der Hubhöhen beim Querschnitt 10 mit 1·1 *m*, gegen 1·5 *m* beobachtet, hierauf steigt die Hubhöhe theoretisch rascher, derart, daß Querschnitt 12 bereits über 4 *m* Hubhöhe hat; dasselbe zeigen die Beobachtungen: einen raschen Anstieg zu Hubhöhen bis zu 4 und 5 *m* beim Querschnitt 12. Dann steigt in der Theorie die Hubhöhe in Übereinstimmung mit den Beobachtungen wieder langsamer an und erreicht ein Maximum von etwa 7·5 *m* (7·3 *m* beobachtet) bei den Querschnitten 16*a* bis 17*a*, sinkt dann in der Straße von Dover wieder herab und am Vorsprung Foreland findet man in der Theorie den Wert 5·1 *m* gegenüber dem beobachteten Werte von 4·7 *m*. Was die Hubhöhe anbelangt, kann auch für die Nordküste des Englischen Kanals die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtungen nicht besser sein.

In den Hafenzeiten finden wir aber eine auffallende Abweichung. Wieder finden wir zunächst in völliger Übereinstimmung mit den Beobachtungen östlich der Insel Wight ein kleines Gebiet mit einer Hafenzeit bei 11^h, dann östlich davon ein Zurückgehen der Hafenzeit auf 10·7 und schließlich in der Straße von Dover wieder ein Vorrücken derselben auf 11^h und darüber hinaus. Aber westlich von der Insel Wight fehlt die Übereinstimmung. Von der Westmündung bis zum Querschnitt 6 (Start Point) gibt die Theorie eine nahezu konstante Hafenzeit von rund $4·7^h$, die Beobachtungen hingegen eine Verspätung von $4·7^h$ auf 6^h. Weiters östlich geben dann die Beobachtungen zunächst eine langsame, dann bei Portland und St. Albans eine weitere rasche Verspätung der Hafenzeit und so von 6^h am Querschnitt 6 aus einen allmählichen Übergang zur Hafenzeit 11^h östlich der Hafen bei der Insel

Wight. Nach der Theorie hingegen verfrüht sich die Hafenzeit bis auf 3^h beim Querschnitt 9 und springt dann plötzlich auf $11 \cdot 8^h$.

Wenn wir auch wissen, daß gerade in diesem Teile des Englischen Kanals der Verlauf der Gezeiten überaus unregelmäßig ist, daß hier an den meisten Orten zwei, stellenweise drei Hochwasser zur Entwicklung gelangen, so muß doch von der Theorie verlangt werden, daß sie gerade an einer solchen Stelle die Beobachtungen genauer wiedergibt. Allerdings ist es auffallend, daß das zweite Hochwasser in den Häfen des Solent gerade auf die Zeit zwischen 11^h und 12^h fällt, was mit der früher erwähnten Hochwasserzeit von $11 \cdot 7^h$ der Theorie gut übereinstimmt. Aber westlich von Portland geben die Häfen nur ein Hochwasser und der Unterschied zwischen Theorie und Beobachtung ist hier gar zu groß. Wir konstatieren zunächst diese Unstimmigkeit als die einzige im ganzen Teile des Kanals westlich von der Doverenge.

Östlich der Doverenge sind die Verhältnisse verwickelter und infolge der bereits erwähnten Verhältnisse nahe bei der Ostmündung theoretisch auch nicht so sicher. Aber trotzdem erkennt man ganz deutlich, daß die Querschwingungen die Ausbildung einer entgegen dem Sinne des Uhrzeigers verlaufenden Amphidromie mit dem Drehungszentrum nördlich der Scheldemündung ergeben. Wenn die Lage der einzelnen Flutstundenlinien in der Theorie sich auch nicht völlig deckt mit der beobachteten Anordnung, besteht wohl kein Zweifel, daß die beobachtete Amphidromie in den Hoofden auf den Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die Längsschwingungen des Verbindungskanals zurückzuführen ist. Die berechnete Lage der Flutstundenlinien stimmt übrigens nicht so schlecht mit den aus den Beobachtungen abgeleiteten. An der englischen Küste finden wir der Theorie nach vor der Themsemündung $11 \cdot 7^h$, die Beobachtungen geben im Mittel $11 \cdot 5^h$. Dann verfrüht sich die Hafenzeit nach der Theorie allmählich auf $6 \cdot 5^h$ bei Cromer. Nach den Beobachtungen ist die Anordnung der Hafenzeit auf ein kleineres Küstenstück beschränkt als nach der Theorie; sonst ergibt letztere aber ebenfalls dieselbe Verfrühung.

Die Verteilung der Hubhöhen stimmt gut mit den Beobachtungen; ein Minimum finden wir nach den Beobachtungen wie nach der Theorie beim Querschnitt 25; die folgende Zunahme gegen die Nordsee zu fällt aber theoretisch kleiner aus, als den Beobachtungen entspricht. An der belgisch-holländischen Küste tritt im Gegensatz zur gegenüberliegenden englischen Küste in Übereinstimmung mit den Beobachtungen eine allmähliche Verspätung der Hafenzeit von $0 \cdot 5^h$ an der belgischen Küste bis etwa 6^h bei Texel ein.

Nicht in Übereinstimmung mit den Beobachtungen steht aber die Größe der Hubhöhen; während die Beobachtungen eine allmähliche Abnahme von 6 *m* zu der belgischen Küste bis auf etwa 1·5 *m* bei Helder anzeigen, bleibt nach der Theorie die Hubhöhe nahezu konstant bei 6·5 bis 7 *m*, ja sie steigert sich sogar nahezu auf 8 *m* bei der Ostmündung.

Das ist die zweite größere Abweichung von den Beobachtungen, die wir konstatieren. Allerdings nahmen wir bei dieser Besprechung gar nicht Rücksicht auf die Umstände, die wir früher ausführlich dargelegt haben und die uns von vornherein an dieser Stelle des Kanals eine Abweichung der Beobachtungen von der Theorie erwarten ließen. Wir wissen es nicht, wie sich die Schwingungsverhältnisse unter dem Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation in einem Becken gestalten, dessen Breite so groß ist, daß die Querschwingungen der Periode der erzwungenen Längsschwingungen nahe kommt. Daß es zur Ausbildung einer Amphidromie kommt, ist zu erwarten und läßt sich verstehen. Wie groß aber in dieser Amphidromie die Amplituden der Schwingung an den einzelnen Stellen sein werden, darüber können wir nichts aussagen, und deshalb spricht diese zweite Unstimmigkeit gegenüber den Beobachtungen an dieser Stelle nicht gegen die Richtigkeit der Theorie. Es kann leicht sein, daß die gegenseitige Einflußnahme von Längs- und Querschwingung darin besteht, die in der zur Ausbildung gelangenden Amphidromie auftretenden Hubhöhen an bestimmten Stellen oder überhaupt abzuschwächen, wie die Beobachtungen es in der Tat zeigen. Mathematisch können wir aber dies nicht nachweisen, weil eine diesbezügliche Lösung der Differentialgleichungen bisher nicht gelungen ist.

Im großen ganzen gibt also die bisher entwickelte hydrodynamische Theorie ein Bild der Gezeitenerscheinungen des Verbindungskanals, das nur in zwei Punkten etwas von den Beobachtungen abweicht; alle anderen wichtigen Tatsachen: die zwei Minima der Hubhöhe und ihre Lage, das Maximum westlich der Straße von Dover, die Zusammendrängung der Flutstundenlinien bei der durch die Halbinsel Cotentin bedingten Enge, die gleichförmige Hafenzeit im größten Teile des östlichen Englischen Kanals, die wesentlich größeren Hubhöhen an der französischen Küste gegenüber jenen an der englischen, die Amphidromie in den Hoofden und manches andere erklärt die Theorie in einfacher, ungezwungener Weise. Wir haben gehört, daß ein Unstimmigkeitspunkt nicht auf Konto der hier entwickelten Theorie fällt, da sie auf die an dieser Stelle herrschenden Gestaltsverhältnisse gar nicht anwendbar ist.

Der andere Unstimmigkeitspunkt fällt auffallenderweise in die Nähe des ersten Minimums der Hubhöhen, wie erwähnt, auch nicht unweit der Stelle, die sich durch den unregelmäßigen Gezeitenverlauf auszeichnet. Dies deutet auf einen Umstand, welcher eine Erklärung dieser Unstimmigkeit ermöglicht. Die ganze, durch das Mitschwingen der Wassermassen mit den äußeren Gezeitenbewegungen bedingte Wasserbewegung im Kanal wurde als reibungslos betrachtet. Die geringen Tiefen im ganzen Verbindungskanal lassen es aber für sehr wahrscheinlich erachten, daß in der Grenzflächenreibung im vorliegenden Falle doch ein die Gezeitenform wesentlich mitbestimmender Faktor liegt, der eine nähere Berücksichtigung verdient, um so mehr, als im betrachteten Verbindungskanal die theoretisch zur Entwicklung gelangenden horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen auffallend groß sind. Nun wissen wir aus den theoretischen Erörterungen des IV. Teiles, daß der Einfluß der Reibung gerade in der Nähe der Minima der Hubhöhen am deutlichsten in Erscheinung tritt, indem statt eines sprunghaften Wechsels der Phasen ein allmählicher Übergang derselben stattfindet. Je größer die Reibung ist, auf ein um so größeres Gebiet erstreckt sich dieser Übergang.

Im vorliegenden Falle sprechen manche Umstände dafür, daß hier die Abweichung auf Kosten der nicht berücksichtigten Grenzflächenreibung zu setzen ist. Erstens tritt hier, wie erwähnt, das Minimum der Hubhöhe auf, zweitens wird einerseits gerade an dieser Stelle die Tiefe des Kanals fast sprunghaft geringer (um etwa 10 bis 20 *m*), andrerseits verengt sich das Kanalbett plötzlich auf etwa die Hälfte, wenn wir die Normannische Bucht, die an sich schon verzögernd wirken muß, mitrechnen. Alles dies bewirkt, daß die Reibungseinflüsse sich gerade an dieser Stelle wesentlich verstärken und derart sich auch in der Form der hier zur Ausbildung gelangenden Gezeiten zu erkennen geben. Wir glauben, nicht fehl zu gehen, wenn wir die an dieser Stelle gefundene Unstimmigkeit den verstärkten Reibungseinflüssen zuschreiben.

Auffallenderweise liegt die zweite Unstimmigkeit ebenfalls in der Höhe eines Minimums der Hubhöhen der Längsschwingung. Es ist die Frage, ob auch nicht hier die Reibung einen solchen Einfluß auf die Anordnung der Hafenzeiten und auf die Größe der Hubhöhen ausübt, daß die mangelhafte Übereinstimmung besser wird.

Die im IV. Teile entwickelte Methode gestattet, die Reibung beim Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit den äußeren Gezeiten zu berücksichtigen und zu untersuchen, inwieweit die gegebene Erklärung der Abweichung auf Richtigkeit beruht. Im folgenden Abschnitt wird deshalb mit Berücksichtigung der Grenzflächenreibung die Berechnung der Gezeiten des Verbindungskanals neuerlich in Angriff genommen.

7. Die Mitschwingungsgezeiten im Verbindungskanal bei Berücksichtigung der Grenzflächenreibung; die Querschwingungen unter Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation.

Im IV. Teile dieser Untersuchungen wurde die Methode, mit welcher die Grenzflächenreibung bei Ermittlung der Längsschwingungen in einem Kanal berücksichtigt werden kann, ausführlich dar-

gelegt und gleichzeitig ein Beispiel für einen beiderseits offenen Kanal berechnet, dessen Eigenperiode $\nu = 2{\cdot}5$ beträgt. Da der von uns jetzt betrachtete Verbindungskanal nahezu dieselbe Eigenperiode besitzt, verweisen wir auf dieses Beispiel und empfehlen dessen Durchsicht zur besseren Beurteilung der Verhältnisse in dem jetzt behandelten Fall.

Wenn wir nun daran schreiten, nach der dort angegebenen Methode die Verteilung der Hubhöhen und Phasen beim Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit den Gezeitenbewegungen der äußeren Meere zu ermitteln, müssen wir uns entschließen, einen bestimmten Zahlenwert für den Koeffizienten der Grenzflächenreibung zu wählen. In erster Annäherung können wir ihn für den ganzen Verbindungskanal als konstant wählen, wenn auch die Rechnung dies nicht erfordert. Vorderhand wollen wir uns aber damit begnügen. Nach einigen Versuchen zeigt es sich, daß die Wahl $\beta = 7{\cdot}25\ 10^{-5}$, welchem Zahlenwert $b = 0{\cdot}05$ entspricht, zu den Beobachtungstatsachen in sehr guter Weise paßt. Dies würde auf keine sehr große Reibung hindeuten und nach den Überlegungen im IV. Teile den bei anderen Gelegenheiten gefundenen Zahlenwerten für den Reibungskoeffizienten vollauf entsprechen.

Wir heben jedoch hier besonders hervor, daß der gewählte Wert $b = 0{\cdot}05$ nur einen Mittelwert für den ganzen Kanal darstellen soll, daß partienweise, je nach den herrschenden Breiten- und Tiefenverhältnissen sowie je nach der Bodenbeschaffenheit b bald größer, bald kleiner sein kann. Wenn wir zunächst b als konstant und gleich 0·05 in die Rechnung einführen, so wollen wir damit ausdrücklich betonen, daß dem Resultat wieder nur die Bedeutung einer weiteren, allerdings aber ziemlich großen Annäherung an die Wirklichkeit zukommt und daß man durch entsprechende Wahl eines veränderlichen Reibungskoeffizienten diese Annäherung noch weitertreiben kann.

Die Gleichungen zur Berechnung der Hubhöhenverteilung und der horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen an den einzelnen Querschnitten sind folgende:

$$2\Delta\eta_1 = \frac{4\pi^2}{gT^2}\Delta x.2\xi_1 - \frac{4\pi^2}{gT^2} b\,\Delta x.2\xi_2 \qquad 2\xi_1 = -\frac{1}{S(x)}\int_0^x 2\eta_1\, b(x)\,dx$$

$$2\Delta\eta_2 = \frac{4\eta^2}{gT^2}\Delta x.2\xi_2 + \frac{4\pi^2}{gT^2} b\,\Delta x.2\xi_2 \qquad 2\xi_2 = -\frac{1}{S(x)}\int_0^x 2\eta_2\, b(x)\,dx.$$

Für $\beta = 0{\cdot}725\ 10^{-5}$ genommen, nehmen die konstanten Größen folgende Zahlenwerte an: $b = 0{\cdot}05$ und für $\Delta x = 30{\cdot}6\ km$:

$$\log\frac{4\pi^2}{gT^2}\Delta x = 0{\cdot}797996-5,\quad \log\frac{4\pi^2}{gT^2} b\,\Delta x = 0{\cdot}496966-6,$$

für $\Delta x = 15{\cdot}3\ km$:

$$\log\frac{4\pi^2}{gT^2}\Delta x = 0{\cdot}496966-5,\quad \log\frac{4\pi^2}{gT^2} b\,\Delta x = 0{\cdot}19593-6.$$

Beim Mitschwingen der Wassermassen des Kanals mit den Gezeiten der Nordsee beginnt man die Rechnung am nullten Querschnitt und setzt den Bedingungen gemäß an, daß am imaginären Querschnitt $0a$ vor der Mündung in den Atlantischen Ozean $2\eta_1$ und $2\eta_2 = 0$ sind, während wir den Größen q_1 und q_2 die Werte $+\ 20\ km^3$, beziehungsweise $-\ 0{\cdot}5\ km^3$ beilegen wollen. Die Wahl der Größen q ist zunächst frei und wir wählen praktischerweise q_1 wesentlich größer als q_2 und wollen damit der Welle $(\xi_2\ \eta_2)$ den Charakter einer Korrektion zur Hauptwelle (ξ_1, η_1) geben. Wir werden sehen, daß dies mit der obigen Wahl der Verhältnisse $q_2 : q_1$ in guter Weise entsprechen wird.

Beim Mitschwingen der Wassermassen mit den Gezeiten des Atlantischen Ozeans beginnen wir die Rechnung am Querschnitt 29 und nehmen am Querschnitt $29a$, das ist knapp vor der Mündung in die Nordsee $2\eta_1$ und $2\eta_2$ gleich Null an und setzen analog dem früheren $q_1 = +\ 20\ km^3$ und $q_2 = -\ 53\ km^3$.

Tabelle 13.

Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit den Gezeiten der Nordsee (Nordseewelle) unter Berücksichtigung der Reibung.

Querschnitt	q_1 km^3	$2\,\xi_1$ m	$2\,\Delta\eta_1$ cm	$2\,\eta_1$ cm		q_2 km^3	$2\,\xi_2$ m	$2\,\Delta\eta_2$ cm	$2\,\eta_2$ cm	
0*a*	+20·—	—	—	0·00		−0·5	—	—	0·00	
0	+20·—	−1077	− 6·77	− 6·77		−0·5	+ 27	−0·17	− 0·17	
1	+19·62	−1099	− 6·91	− 13·68		−0·51	+ 29	−0·17	− 0·34	
2	+18·88	−1361	− 8·55	− 22·23		−0·53	+ 38	−0·19	− 0·53	
3	+17·76	−1239	− 7·79	− 30·02		−0·56	+ 39	−0·14	− 0·67	
4	+16·06	−1176	− 7·38	− 37·40		−0·60	+ 44	−0·09	− 0·76	
5	+13·72	−1162	− 7·32	− 44·72		−0·65	+ 55	−0·01	− 0·77	
6	+10·50	−1072	− 6·75	− 51·47	Mitschwingen mit der Normannischen Bucht: $2\,\eta = -57\,cm$; ergibt $q = -6·7$ aufgeteilt auf: 6: −1·4, 7: −2·0, 8: −2·0 und 9: −1·3.	−0·70	+ 71	+0·11	− 0·66	Mitschwingen mit der Normannischen Bucht: $2\,\eta = -0·5$; ergibt $q = -0·05$ wird aufgeteilt 6: −0·02, 7: −0·02, 8: −0·01, 9: 0·00.
7	+ 6·17	− 707	− 4·47	− 55·94		−0·75	+ 86	+0·32	− 0·34	
8	+ 1·96	− 265	− 1·70	− 57·64		−0·77	+104	+0·57	+ 0·23	
9	+ 0·02	− 3	− 0·06	− 57·70		−0·76	+128	+0·80	+ 1·03	
10	− 1·95	+ 333	+ 2·05	− 55·65		−0·72	+123	+0·87	+ 1·90	
11	− 3·94	+ 704	+ 4·39	− 51·26		−0·65	+116	+0·95	+ 2·85	
12	− 6·32	+ 995	+ 6·22	− 45·04		−0·52	+ 82	+0·82	+ 3·67	
13	− 8·63	+1359	+ 8·52	− 36·52		−0·33	+ 52	+0·76	+ 4·43	
14	−10·56	+1985	+12·46	− 24·06		−0·10	+ 19	+0·74	+ 5·17	
15	−11·45	+2627	+16·51	− 7·55		+0·09	− 21	+0·70	+ 5·87	
15*a*	−11·59	+3091	+ 9·72	+ 2·17		+0·20	− 53	+0·32	+ 6·19	
16	−11·55	+3358	+10·55	+ 12·72		+0·31	− 90	+0·27	+ 6·46	
16*a*	−11·34	+4050	+12·74	+ 25·46		+0·42	−150	+0·17	+ 6·63	
17	−10·96	+4893	+15·41	+ 40·87		+0·52	−232	+0·04	+ 6·67	
17*a*	−10·45	+5806	+18·28	+ 59·15		+0·60	−333	−0·13	+ 6·54	
18	− 9·92	+7085	+22·32	+ 81·47		+0·66	−471	−0·36	+ 6·18	
18*a*	− 9·40	+7769	+24·49	+105·96		+0·70	−579	−0·60	+ 5·58	
19	− 8·80	+7928	+25·00	+130·96		+0·73	−658	−0·83	+ 4·75	
19*a*	− 7·62	+4704	+14·84	+145·80	Bei 20: Mitschwingen mit der Themsemündung: $2\,\eta = +148$ ergibt $q = +2·42$.	+0·77	−475	−0·75	+ 4·00	Bei 20: Mitschwingen mit der Themsemündung: $2\,\eta = +3·0$ ergibt $q = +0·05$.
20	− 2·74	+1212	+ 3·87	+149·67		+0·88	−390	−1·03	+ 2·97	
21	+ 3·19	−1016	− 6·28	+143·39		+1·00	−319	−2·32	+ 0·65	
22	+10·26	−2552	−15·95	+127·44		+1·03	−256	−2·41	− 1·76	
23	+17·85	−3688	−23·10	+104·34	Bei 23 u. 24: Mitschwingen mit der Scheldemündung: $2\,\eta = +90$ ergibt $q = +1·35$; aufgeteilt auf 23: +0·68, 24: +0·67.	+0·90	−186	−2·33	− 4·09	23 u. 24: Mitschwingen mit der Scheldemündung: $2\,\eta = -5·0$, $q = -0·07$; 23: −0·03, 24: −0·04.
24	+24·80	−4413	−27·69	+ 76·65		+0·61	−109	−2·07	− 6·16	
25	+29·28	−4684	−29·41	+ 47·24		+0·25	− 40	−1·73	− 7·89	
26	+32·30	−5383	−33·82	+ 13·42		−0·25	+ 42	−1·43	− 9·32	
27	+33·34	−4853	−30·53	− 17·11		−0·98	+143	−0·62	− 9·92	
28	+31·16	−4149	−26·15	− 43·26	Bei 28: Mitschwingen mit der Washbucht: $2\,\eta = -21$ ergibt $q = -0·24$.	−2·21	+293	+0·55	− 9·37	Bei 28: Mitschwingen mit der Washbucht $2\,\eta = -10$ ergibt $q = -0·11$.
29	+26·11	−3185	−20·12	− 63·38		−3·30	+403	+1·53	− 7·84	

Tabelle 14.

Mitschwingen der Wassermassen des Verbindungskanals mit den Gezeiten des Atlantischen Ozeans (atlantische Welle) unter Berücksichtigung der Reibung.

Querschnitt	q_1 *km*³	$2\,\xi_1$ *m*	$2\,\Delta\eta_1$ *cm*	$2\,\eta_1$ *cm*		q_2 *km*³	$2\,\xi_2$ *m*	$2\,\Delta\eta_2$ *cm*	$2\,\eta_2$ *cm*	
29*a*	+20·—	—	—	0·00		—0·53	—	—	0·00	
29	+20·0	—2439	—15·34	— 15·34	Bei 28: Mitschwingen der Washbucht $2\,\eta = -31$ *cm*, $q = -0·35$.	—0·53	+ 65	—0·36	— 0·36	Bei 28: Mitschwingen der Washbucht $2\,\eta = -0·64$, $q = -0·01$.
28	+18·21	—2425	—15·25	— 30·59		—0·57	+ 76	—0·28	— 0·64	
27	+14·39	—2095	—13·19	— 43·78		—0·65	+ 87	—0·12	— 0·76	
26	+10·98	—1830	—11·53	— 55·31		—0·71	+119	+0·18	— 0·58	
25	+ 7·45	—1192	— 7·53	— 62·84		—0·75	+120	+0·38	— 0·20	
24	+ 3·78	— 673	— 4·26	— 67·10	Bei 23 u. 24: Mitschwingen der Scheldemündung. $2\,\eta = -65$ *cm*, $q = -0·97$; bei 23 u. 24 je: — 0·48.	—0·76	+135	+0·64	+ 0·44	Mitschwingen mit der Scheldemündung $= 2\,\eta = +0·6$, $q = +0·01$.
23	— 0·74	+ 153	+ 0·91	— 66·19		—0·73	+151	+1·00	+ 1·44	
22	— 4·81	+1197	+ 7·47	— 58·72		—0·65	+162	+1·40	+ 2·84	
21	— 7·71	+2456	+15·37	— 43·35		—0·51	+163	+1·79	+ 4·63	
20	— 9·39	+4154	+26·04	— 17·31	Mitschwingen mit der Themsemündung $= 2\,\eta = -8$ *cm*, $q = -0·13$.	—0·33	+146	+2·22	+ 6·85	Mitschwingen mit der Themsemündung: $2\,\eta = +8$, $q = +0·13$.
19*a*	— 9·80	+6050	+18·99	+ 1·68		—0·09	+ 57	+1·13	+ 7·98	
19	— 9·78	+8811	+27·67	+ 29·35		—0·02	+ 18	+1·44	+ 9·42	
18*a*	— 9·62	+7950	+24·98	+ 54·33		+0·03	— 25	+1·17	+10·59	
18	— 9·28	+6629	+20·82	+ 75·15		+0·10	— 71	+0·82	+11·41	
17*a*	— 8·61	+4783	+15·04	+ 90·19		+0·20	—111	+0·40	+11·81	
17	— 7·49	+3422	+10·78	+100·97		+0·35	—156	+0·05	+11·86	
16*a*	— 5·97	+2132	+ 6·73	+107·70		+0·53	—189	—0·26	+11·60	
16	— 4·14	+1203	+ 3·81	+111·51		+0·73	—212	—0·48	+11·12	
15*a*	— 2·11	+ 563	+ 1·81	+113·32		+0·93	—248	—0·69	+10·43	
15	— 0·01	+ 2	+ 0·05	+113·37		+1·12	—257	—0·81	+ 9·62	
14	+ 4·18	— 786	— 4·85	+108·52		+1·48	—278	—2·00	+ 7·62	
13	+ 9·90	—1559	— 9·70	+ 98·82		+1·88	—296	—2·35	+ 5·27	
12	+14·96	—2356	—14·69	+ 84·13		+2·15	—339	—2·87	+ 2·40	
11	+18·86	—3368	—21·02	+ 63·11		+2·26	—404	—3·60	— 1·20	
10	+21·11	—3609	—22·55	+ 40·56		+2·22	—379	—3·52	— 4·72	
9	+22·49	—3773	—23·59	+ 16·97	Bei 8, 7 u. 6: Mitschwingen mit der Normannischen Bucht, $2\,\eta = -20$ *cm* $q = -2·3$, aufgeteilt: 8: + 0·3, 7: — 1·3 und 6: — 1·3.	+2·06	—346	—3·36	— 8·08	Bei 8, 7 u. 6: Mitschwingen mit der Normannischen Bucht $2\,\eta = -14$ *cm*, $q = -1·6$, und zwar 8: — 0·5, 7: —0·6 und 6: — 0·5.
8	+23·27	—3149	—19·71	— 2·74		+1·78	—241	—2·50	—10·58	
7	+21·86	—2504	—15·70	— 18·44		+0·76	— 87	—1·34	—11·92	
6	+19·73	—2013	—12·65	— 31·09		—0·28	+ 29	—0·45	—12·37	
5	+18·46	—1563	— 9·84	— 40·93		—0·78	+ 66	—0·07	—12·44	
4	+15·90	—1164	— 7·35	— 48·28		—1·56	+114	+0·49	—11·99	
3	+13·16	— 918	— 5·82	— 54·10		—2·10	+147	+0·63	—11·36	
2	+10·44	— 752	— 4·78	— 58·88		—2·67	+192	+0·97	—10·39	
1	+ 7·24	— 406	— 2·61	— 61·49		—3·24	+182	+1·01	— 9·38	
0	+ 3·78	— 203	— 1·34	— 62·83		—3·77	+202	+1·22	— 8·16	

In beiden Fällen wurde außerdem an den entsprechenden Querschnitten das Mitschwingen der Nebenbuchten berücksichtigt, was zwar die Rechnung wesentlich verlängert, das Ergebnis aber in bedeutendem Maße genauer gestaltet. Die Hauptwerte dieser langwierigen Berechnungen stehen in den Tabellen 13 und 14.

In beiden Fällen ersieht man sogleich, daß den Werten der Welle (η_2, ξ_2) infolge ihrer Kleinheit der Charakter eines Korrektionsgliedes zur Welle (η_1, ξ_1) zukommt; dies entspricht auch vollauf unserer Absicht.

Die nach den Grenzbedingungen passende Zusammenfassung der zwei Wellen (ξ_1, η_1) und (ξ_2, η_2) gibt nun in jedem Falle die Mitschwingungsgezeit mit der äußeren Gezeitenbewegung. Nach der im IV. Teile dargelegten Methode ist hierzu die Ermittlung von je zwei Konstanten notwendig.

Die Grenzbedingungen sind folgende: 1. Beim Mitschwingen mit den Gezeiten der Nordsee; beim Querschnitt 28 nahe der östlichen Mündung eine Hubhöhe von 200 *cm* und eine Hafenzeit $6{\cdot}4^h$ (Mondstunden).

2. Beim Mitschwingen mit den Gezeiten des Atlantischen Ozeans: beim Querschnitt 0, nahe an der westlichen Mündung eine Hubhöhe von 440 *cm* und eine Hafenzeit von $4{\cdot}5^h$ (Mondstunden). Sie entsprechen beide in guter Weise den Beobachtungen an diesen Stellen in der Mitte des Kanals.

Dann bestehen für alle Zeiten folgende Bedingungsgleichungen zur Berechnung von je zwei, bisher freien konstanten p_2 und ε (siehe IV. Teil, Abschnitt 4, p. 11):

Im ersten Fall:

$$-43{\cdot}26 \cos\frac{2\pi}{T}(t-\varepsilon_1)-9{\cdot}37 \sin\frac{2\pi}{T}(t-\varepsilon_1)=\frac{1}{p_1}\,200\cos\frac{2\pi}{T}(t-6{\cdot}4).$$

Im zweiten Fall:

$$-62{\cdot}83 \cos\frac{2\pi}{T}(t-\varepsilon_2)-8{\cdot}16 \sin\frac{2\pi}{T}(t-\varepsilon_2)=\frac{1}{p_2}\,400\cos\frac{2\pi}{T}(t-4{\cdot}5)$$

Aus ihnen erhält man

$$\varepsilon_1=6{\cdot}0^h \text{ und } p_1=-4{\cdot}52, \quad \text{sowie} \quad \varepsilon_2=4{\cdot}25^h \text{ und } p_2=-6{\cdot}94.$$

Mittels dieser fassen wir nun in beiden Fällen die zwei Wellen nach der Form

$$2p\eta_1\cos\frac{2\pi}{T}(t-\varepsilon)+2p\eta_2\sin\frac{2\pi}{T}(t-\varepsilon)$$

$$2p\xi_1\cos\frac{2\pi}{T}(t-\varepsilon)+2p\xi_2\sin\frac{2\pi}{T}(t-\varepsilon)$$

zu je einer Welle zusammen und erhält so die Mitschwingungsgezeit mit den Gezeiten der Nordsee: die Nordseewelle und die Mitschwingungsgezeit mit den Gezeiten des Atlantischen Ozeans: die Atlantische Welle. Die ihnen entsprechende Verteilung der Hubhöhen und Hafenzeiten sowie die Größe der horizontalen Verschiebungen und ihre Phase an den einzelnen Querschnitten steht für beide Wellen in Tabelle 15.

Durch den Einfluß der Grenzflächenreibung haben diese zwei Hauptkomponenten der theoretischen Gezeiten des Verbindungskanals den Charakter von stehenden Wellen eingebüßt; in der Umgebung der Minima der Hubhöhen, d. i. bei der Atlantischen Welle bei den Querschnitten 7 bis 9 und 19*a* bis 20, bei der Nordseewelle bei den Querschnitten 15 bis 16 und 25 bis 27, erfolgt ein allmählicher Übergang zu einer um etwa 6^h größeren Hafenzeit. Dieser Übergang ist an jenem Hubhöhenminimum, daß der mitschwingenden Mündung am nächsten ist, wesentlich langsamer, genau wie es die Theorie verlangt. Von diesen Stellen abgesehen, wo die Hubhöhe nirgends auf Null herabsinkt, ist sonst die Verteilung der Hubhöhen in beiden Wellen von derselben Form, wie wir sie bereits bei den Wellen ohne Reibung ausführlich beschrieben haben; wir wollen deshalb hier nicht dasselbe

Tabelle 15.

Zusammenfassung von ξ_1 und ξ_2 und von η_1 und η_2 zu den einzelnen Längsschwingungen im Verbindungskanal.

Querschnitt	Atlantische Welle				Nordseewelle			
	2η *cm*	Hafenzeit Mondstunden	2ξ *m*	Phase	2η *cm*	Hafenzeit Mondstunden	2ξ *m*	Phase
0 *a*	—	—	—	—	0	6·00h	—	—
0	440	4·50h	1990	2·76h	31	6·05	4880	11·94h
1	430	4·48	3100	3·45	62	6·05	4970	11·95
2	415	4·59	5380	3·77	100	6·05	6150	11·95
3	383	4·65	6450	3·94	136	6·04	5610	11·94
4	346	4·71	8120	4·07	168	6·04	5330	11·93
5	297	4·81	10870	4·14	203	6·04	5240	11·91
6	232	4·98	13970	4·23	232	6·02	4750	11·87
7	152	5·35	17340	4·31	253	6·01	3210	11·77
8	77	6·77	21900	4·39	256	5·98	1310	11·28
9	130	9·40	26300	4·42	261	5·98	590	9·05
10	283	10·03	25180	4·45	251	5·94	1630	6·68
11	438	10·21	23090	4·48	232	5·90	3220	6·21
12	584	10·30	16100	4·57	205	5·85	4520	6·16
13	690	10·35	11030	4·61	166	5·77	6150	6·08
14	751	10·39	5810	4·90	111	5·60	8950	6·02
15	788	10·41	1780	7·26	43	4·74	11840	5·98
15 *a*	788	10·42	4260	9·46	30	2·36	13920	5·98
16	778	10·44	8500	9·91	65	0·90	15280	5·95
16 *a*	750	10·45	15130	10·11	119	0·49	18310	5·93
17	703	10·47	23760	10·16	187	0·31	22150	5·91
17 *a*	688	10·50	33250	10·21	269	0·21	25810	5·89
18	526	10·54	46000	10·23	369	0·15	32090	5·87
18 *a*	383	10·62	55180	10·24	480	0·10	35210	5·86
19	214	10·84	61000	10·25	592	0·07	35980	5·84
19 *a*	57	11·14	42150	10·27	659	0·05	21470	5·81
20	129	3·53	28780	10·31	676	0·04	6100	5·40
21	301	4·05	17080	10·38	646	0·01 11·6	4840	0·58
22	408	4·16	8310	10·51	574	11·97 11·3	11570	0·19
23	461	4·21	1490	11·74	489	11·93 11·0	16690	0·09
24	466	4·24	4760	3·87	348	11·85 10·8	19930	0·05
25	435	4·25	8320	4·06	216	11·68 10·3	21200	0·02
26	383	4·27	12750	4·12	74	10·84 10·0	24320	11·98
27	304	4·28	14590	4·17	89	6·70	21920	11·95
28	212	4·29	16860	4·18	200	6·41	18800	11·87
29	106	4·30	16860	4·20	288	6·24	14510	11·76
29 *a*	0	4·50	—	—				

wiederholen. Hervorzuheben wäre noch jene Stelle in der Nordseewelle, bei welcher in Tabelle 15 zwei Hafenzeiten (die eine davon in Klammern) angegeben sind. Sie umfaßt die Umgebung des ersten Hubhöhenminimums der Nordseewelle. Wie der weitere Verlauf der Rechnung zeigen wird, empfiehlt es sich, an dieser Stelle einen etwas langsameren Übergang der Hafenzeiten von der einen zur anderen Seite anzunehmen, als die Werte in Klammern, die der Rechnung entsprechen, anzeigen. Dies würde aber besagen, daß an dieser Stelle der Reibungseinfluß hätte größer angenommen werden sollen, als ihn die Konstante $b = 0 \cdot 05$ fixiert. Das ist aber an dieser Stelle fast zu erwarten gewesen; erstens weist die geringe Tiefe darauf hin, zweitens aber auch die ausgedehnten Sandbänke der Scheldemündung, die sich weit hinaus ausbreiten, und sicherlich eine wesentlich größere Hemmung der periodischen Wasserbewegung als bei glattem Boden bewirken. Dies bedingt aber einen etwas größeren Reibungskoeffizienten als $b = 0 \cdot 05$. Wir haben, um diesen Umständen Rechnung zu tragen, an dieser Stelle der Tabelle 15 in den nicht eingeklammerten Werten einen langsameren Übergang der Hafenzeiten angesetzt; er entspricht, wie eine kleine Nebenrechnung zeigte, etwa einem Reibungskoeffizienten $b = 0 \cdot 10$ ($\beta = 1 \cdot 45 . 10^{-5}$). In den Hubhöhen ist die dadurch bewirkte Änderung so unbedeutend, daß die ersteren Werte ungeändert belassen wurden. Wir werden noch eine zweite Stelle finden, an der der Reibungseinfluß etwas größer anzusetzen wäre, als im Mittel für den ganzen Kanal angenommen wurde. Es könnte diese Korrektur, wenn wir diese kleine Änderung so nennen wollen, gleich hier vorgenommen werden; es erschien aber wünschenswert, diese zweite Änderung an einer späteren Stelle anzubringen. —

Zu diesen Längsschwingungen treten nun noch die durch die Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die horizontalen Wasserverschiebungen in ihnen bedingten Querschwingungen. Bei diesen wurde von einer näheren Berücksichtigung der Grenzflächenreibung abgesehen, schon deshalb, weil hiebei auch die Form des Querschnittes nicht nähere Beachtung erfahren hat und die ganze Rechnung auch in theoretischer Hinsicht nur eine erste Annäherung an die Wirklichkeit darstellen kann und soll. Die Ermittlung der Hubhöhen und Hafenzeiten an der Nordküste (an der Südküste sind sie um 6 Stunden größer) erfolgte wieder nach den im 5. Abschnitte mitgeteilten Formeln und mit denselben Zahlenwerten für die Konstanten, die in Tabelle 11 mitgeteilt sind. Die Rechnung ist ganz analog der dort durchgeführten; es erübrigt deshalb, näher darauf einzugehen. Tabelle 16 enthält als Ergebnis derselben für jeden Querschnitt die Elemente dieser Querschwingungen, sowohl für die Atlantische Welle als auch für die Nordseewelle. Für die Querschnitte nach dem 25. wurde die Berechnung, bzw. die Mitteilung der Hubhöhen und Hafenzeiten unterlassen, da — die Gründe dafür wurden früher ausführlich dargelegt — letztere theoretisch unhaltbar und ohne Bedeutung sind.

Der Einfluß der Reibung — er steckt in der Größe und Phase der horizontalen Verschiebungen der Längsschwingungen — zeigt sich hier vor allem in der Hafenzeit der Querschwingungen, indem sie nicht mehr für große Gebiete konstant ist, sondern sich allmählich von Querschnitt zu Querschnitt ändert. Auch hier finden sich an den Minima allmähliche Übergänge der Hafenzeiten von dem Wert der einen Seite nach dem um etwa 6 Stunden größeren der anderen, doch fällt die Verteilung der Hubhöhen nur unwesentlich anders aus, als jene, die ohne Berücksichtigung der Reibung in Tabelle 11 gefunden wurde.

Die Zusammenfassung der Atlantischen Welle und der Nordseewelle gibt die Mitschwingungsgezeit der Wassermassen des Verbingungskanals mit den äußeren Gezeiten der beiden Meere; die Zusammenfassung der zwei Querschwingungen an jedem Querschnitt die zu der ersteren gehörigen Querschwingungen. Für beide Wellenarten sind Hubhöhe und Hafenzeit in Tabelle 16 mitgeteilt.

Die Längsschwingung hat nun erst recht, nachdem schon die Komponenten dies aufweisen, den Charakter einer fortschreitenden Welle, welche gewissermaßen die Gezeiten des Atlantischen Ozean bei der westlichen Mündung zu den Gezeiten der Nordsee bei der östlichen Mündung des Kanals überführt; sie weist rasche Änderungen der Hafenzeit bei den Querschnitten 6 bis 9 und 21 bis 25

Tabelle 16.

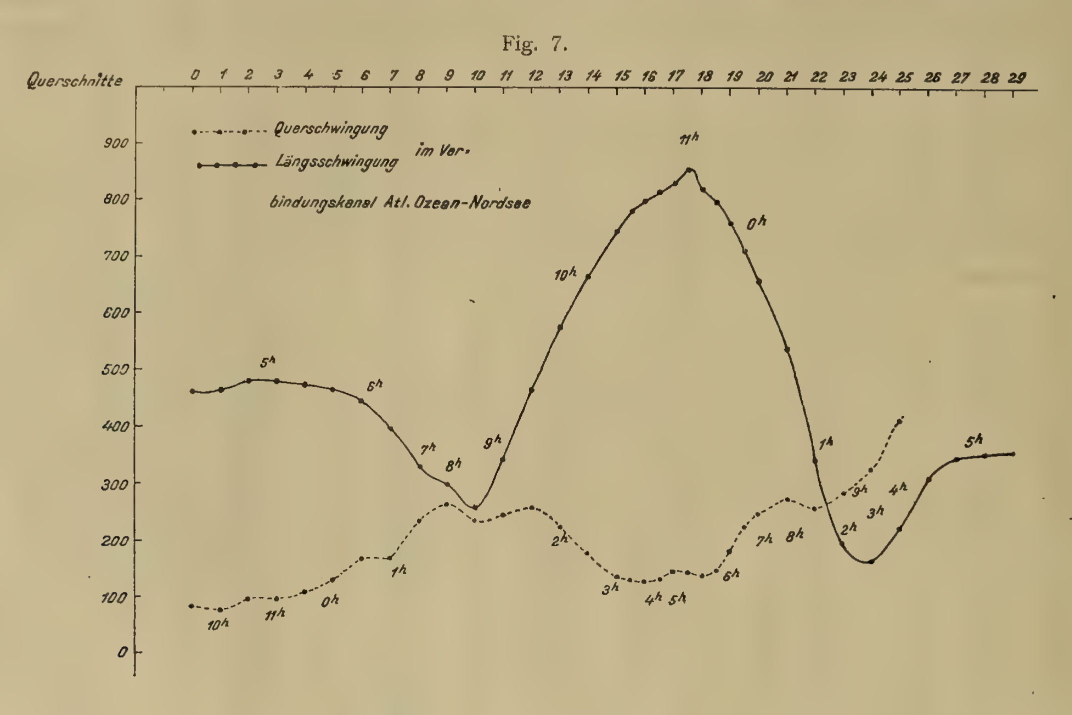
Die durch die ablenkende Kraft der Erdrotation bedingten Querschwingungen und die Zusammensetzung der zwei Längs- und der zwei Querschwingungen.

Querschnitt	Querschwingungen, Hubhöhe und Hafenzeit an der Nordküste				Zusammensetzung der			
	Atlantische Welle		Nordseewelle		Längsschwingungen		Querschwingungen	
	2η *cm*	Mondstunden	2η *cm*	Mondstunden	Hubhöhe *cm*	Hafenzeit Mondstunden	Hubhöhe *cm*	Hafenzeit an der Nordküste Mondstunden
0	30	11·76^{h}	73	8·94^{h}	460	4·59^{h}	82	9·67^{h}
1	47	0·45	74	8·95	466	4·71	78	10·15
2	82	0·77	94	8·95	481	4·94	96	10·66
3	101	0·94	88	8·94	480	5·10	96	11·17
4	128	1·07	84	8·93	474	5·25	106	11·77
5	160	1·14	76	8·91	464	5·45	129	0·21
6	186	1·23	64	8·87	444	[5·59] 5·80	164	0·62
7	211	1·31	39	8·77	399	[5·82] 6·30	168	0·90
8	246	1·39	15	8·28	328	[6·16] 6·90	234	1·30
9	268	1·42	6	6·05	300	[6·91] 7·30	263	1·40
10	229	1·45	15	3·68	257	8·19	236	1·52
11	231	1·48	31	3·21	343	9·16	246	1·63
12	207	1·57	58	3·16	468	9·69	258	1·93
13	153	1·61	86	3·08	578	10·02	223	2·13
14	73	1·90	112	3·02	663	10·20	179	2·58
15	18	4·26	122	2·98	745	10·39	137	3·14
15 *a*	42	6·46	136	2·98	782	10·48	132	3·58
16	80	6·91	144	2·95	799	10·59	126	4·07
16 *a*	130	7·11	158	2·93	812	10·70	131	4·61
17	169	7·16	157	2·91	829	10·81	146	5·20
17 *a*	183	7·21	142	2·89	853	10·96	144	5·56
18	184	7·23	128	2·87	818	11·19	139	5·77
18 *a*	199	7·24	126	2·86	799	11·45	149	5·91
19	244	7·25	144	2·84	762	11·75	182	6·05
19 *a*	303	7·27	154	2·81	710	11·98	226	6·36
20	300	7·31	63	2·40	657	0·40	248	7·05
21	238	7·38	65	9·58	530	0·60	271	7·80
22	118	7·51	164	9·19	333	0·79	257	8·50
23	23	8·74	261	9·09	197	1·35	284	9·06
24	187	0·87	354	9·05	166	3·00	328	9·51
25	188	1·06	476	9·02	218	4·20	411	9·79
26	—	—	—	—	310	4·33	—	—
27	—	—	—	—	342	4·76	—	—
28	—	—	—	—	351	5·32	—	—
29	—	—	—	—	356	5·73	—	—

auf. Auch hier wurde es nun — wir haben es früher bereits erwähnt — für gut befunden, aus Gründen, die später besser hervortreten, an der ersten Stelle den Übergang der Hafenzeiten etwas zu verlangsamen. Dies bedeutet auch hier nichts anderes, als daß an dieser Stelle der Reibungskoeffizient etwas größer anzusetzen ist. Der Effekt ist trotz der an sich nur sehr geringen Verschiebung der Hafenzeiten — es handelt sich ja bloß um 15 bis 30 Minuten — an dieser Stelle, wie wir später sehen werden, ein ganz beträchtlicher. Die Annahme größerer Reibung gerade an dieser Stelle, wo sich der Kanal wesentlich verengt und die Normannische Bucht auch dämpfend wirkt, ist wohl gerechtfertigt.

Fig. 7 gibt eine graphische Darstellung der Hubhöhenverteilung sowohl der Längsschwingung als auch der Querschwingungen im Verbindungskanal. Die Hafenzeit ist an jenen Stellen, an denen

Fig. 7.



sie zu einer vollen Stunde eintritt, zur Übersicht angegeben. Es erübrigt sich wohl, näher auf die Diskussion dieser Wellen einzugehen, da jeder selbst aus der Figur eine rasche Übersicht über die Lage der Hubhöhenextreme sowie über die Verteilung der Hafenzeit gewinnen kann.

8. Die theoretischen Gezeiten des Verbindungskanals: Atlantischer Ozean — Nordsee bei Berücksichtigung der Grenzflächenreibung. Vergleich mit den Beobachtungstatsachen.

Aus der Zusammenfassung der Längsschwingung mit den Querschwingungen folgen die theoretischen Gezeiten des Verbindungskanals: Atlantischer Ozean—Nordsee; wir erhalten Hubhöhe und Phasenzeit der Gezeitenbewegung für die einzelnen Punkte der Nord- und Südküste des Kanals, die Schnittpunkte mit den einzelnen Querschnitten bilden. Das Ergebnis dieser Zusammenfassung beider Wellen zu einer einzigen Gezeitenbewegung steht in Tabelle 17.

Bei den Querschnitten 6 bis 9 findet man in derselben zwei Werte für die Hubhöhe und Phase, entsprechend den doppelten Werten der Längsschwingung an dieser Stelle in Tabelle 16. Aus dem Vergleich dieser beiden Werte ersieht man, wie einschneidend die nur um wenige Minuten geänderte Phase der Längsschwingung auf die Hubhöhe und Phase der theoretischen Gezeit an der Nordküste des Kanals ist. An der Südküste sind die Änderungen dieser Elemente nur gering. An der Nordküste ergibt sich im ersten Fall eine nahezu konstante Hafenzeit bei etwa 5^h, im zweiten Fall bei

Tabelle 17.

Die theoretischen Gezeiten des Verbindungskanals Atlantischer Ozean—Nordsee bei Berücksichtigung der Grenzflächenreibung.

(Zusammensetzung der Längs- und Querschwingungen.)

Querschnitt	Nordküste		Südküste		Querschnitt	Nordküste		Südküste	
	Hubhöhe *cm*	Hafenzeit Mondstunden	Hubhöhe *cm*	Hafenzeit Mondstunden		Hubhöhe *cm*	Hafenzeit Mondstunden	Hubhöhe *cm*	Hafenzeit Mondstunden
0	391	4·78h	533	4·46h	16 *a*	681	10·73h	940	10·69h
1	393	4·85	542	4·66	17	688	10·75	971	10·86
2	377	4·98	579	4·89	17 *a*	718	10·84	995	11·04
3	384	5·08	577	5·11	18	687	11·08	952	11·27
4	371	5·10	579	5·34	18 *a*	670	11·23	939	11·52
5	348	5·17	588	5·61	19	587	11·66	940	11·80
6	316 298	5·05 5·36	592 593	5·85 6·02	19 *a*	492	11·81	932	0·07
7	272 246	5·17 5·89	548 562	6·13 6·48	20	418	0·03	883	0·59
8	187 111	4·68 6·04	538 560	6·64 7·06	21	335	11·70	763	1·00
9	80 43	5·03 6·96	561 569	7·14 7·37	22	262	11·21	521	1·18
10	89	10·38	487	7·87	23	216	10·58	444	2·39
11	246	10·68	542	8·53	24	174	10·00	478	3·34
12	373	10·81	655	8·92	25	204	9·34	538	4·10
13	492	10·76	721	9·51	26	—	(8·0)	—	(4·5)
14	562	10·66	798	9·87	27	—	(7·5)	—	(5·5)
15	641	10·65	858	10·20	28	—	(6·5)	—	(6·5)
15 *a*	668	10·66	903	10·35	29	—	(6·0)	—	(7·0)
16	667	10·75	935	10·48					

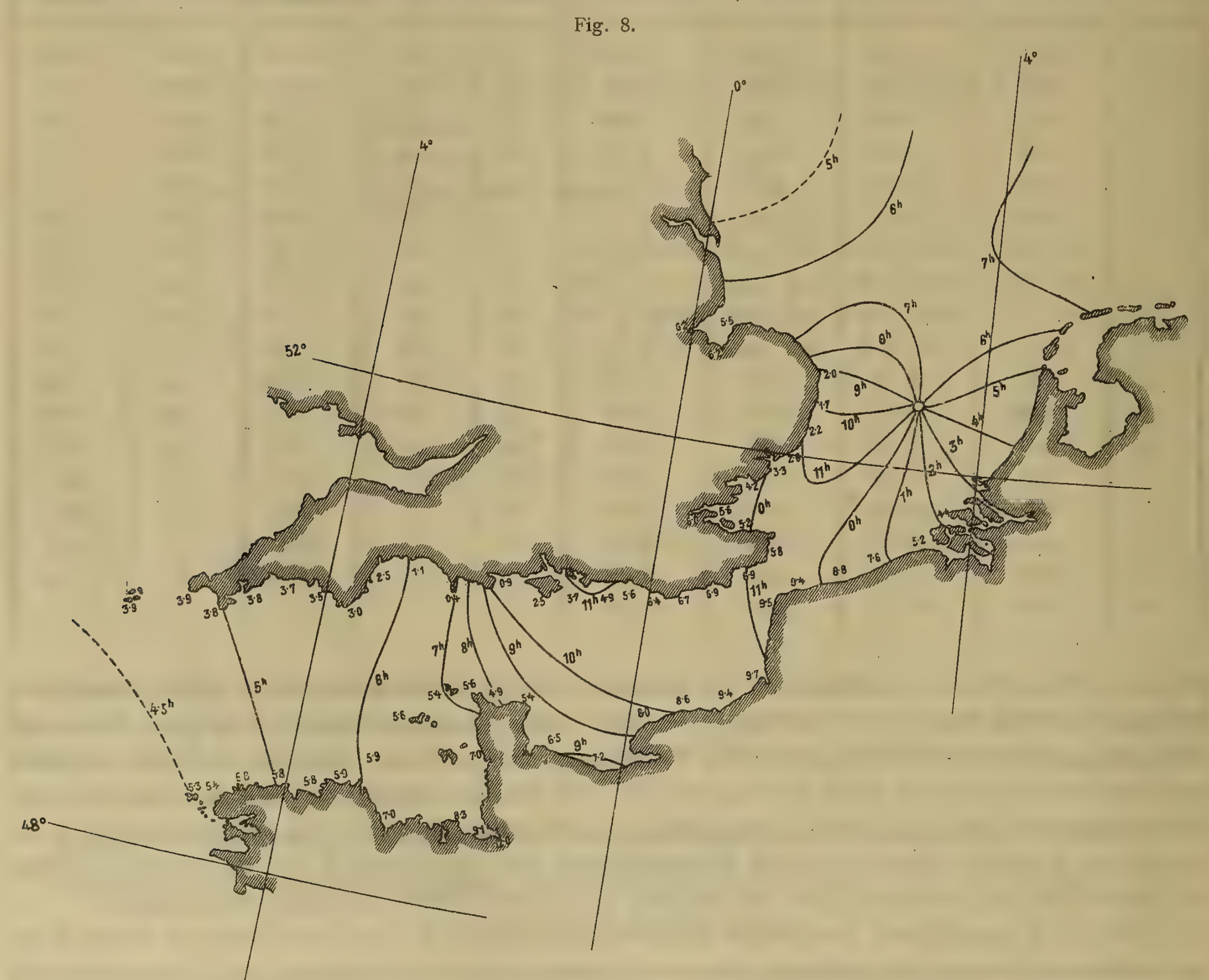
kräftigerem Hervortreten des Minimums der Hubhöhe, das an dieser Stelle eintritt, einen allmählichen Übergang der Hafenzeit von 5^h auf etwa 7^h. Die zweite Annahme entspricht in guter Weise den Beobachtungstatsachen. Sie beinhaltet die Forderung, daß an dieser Stelle die Grenzflächenreibung etwas größer als sonst im Kanal ist, was aber, wie wir bereits erwähnt haben, aus den orographischen Verhältnissen des Kanals an dieser Stelle vollauf gerechtfertigt erscheint. Es ist bemerkenswert, daß nur an der Nordküste dieser vermehrte Reibungseinfluß sich so deutlich in der Verteilung der Phase der Gezeit kundgibt, während er an der Südseite die Gezeitenverhältnisse nur wenig tangiert.

Für den Kanalabschnitt nordöstlich des 25. Querschnittes, d. i. für den Übergang in die Nordsee, können wir aus bereits genügend erörterten Gründen die Zusammenfassung der Längsschwingung mit den Querschwingungen nicht vornehmen; demnach bleibt dieser kleine Kanalteil durch keine theoretischen Zahlenwerte belegt. Da wir aber annehmen müssen, daß die im Kanal zur Ausbildung gelangenden Gezeiten stetig in jene der Nordsee vor der Mündung übergehen müssen, so ist es nicht schwer, für dieses kleine Meeresstück die Gezeitenform zu interpolieren. Am 25. Querschnitt finden wir an der englischen Küste eine Hafenzeit von etwa 9^h, an der holländischen Küste etwa 4^h. Da am Kanalausgang in der Mitte desselben die Hafenzeit $6{\cdot}4^h$ herrscht, gegen die englische Küste zu etwa 6^h, gegen die holländische hingegen etwa 7^h anzunehmen ist, so muß an der englischen Küste zwischen dem 25. Querschnitt und der Washbucht eine allmähliche Verfrühung der Hafenzeit von 9^h auf etwa 6^h, an der holländischen Küste hingegen eine allmähliche Verspätung derselben von etwa 4^h auf 7^h stattfinden. Diese Übergänge wurden in Tabelle 17 zwischen dem 25. und 29. Querschnitt ungefähr

linear auf die einzelnen Querschnitte aufgeteilt und in Klammern aufgenommen. Die Größe der Hubhöhen bleibt nun aber hiebei allerdings unbekannt.

Mit Ausnahme dieses kleinen Kanalabschnittes gibt die entwickelte hydrodynamische Theorie überall eindeutige Gezeiten, die wir nun mit den aus den Beobachtungen abgeleiteten Tatsachen näher vergleichen wollen. Mit Hilfe der Daten der Tabelle 17 wurde in Figur 8 eine graphische Darstellung der theoretischen Flutstundenlinien im ganzen Verbindungskanal entworfen und an den einzelnen Küstenpunkten auch die Hubhöhe in Meter angegeben. Fig. 9 enthält hingegen die bereits oft erwähnte graphische Darstellung der nach den Beobachtungstatsachen entworfenen Flutstundenlinien, sowie an den zahlreichen Häfen die für dieselben ermittelten Hubhöhen bei Springflut ebenfalls in Meter. Diese Karte wurde, trotzdem wir schon oft früher darauf hinweisen mußten, erst hier neben der Figur 8

Fig. 8.



Theoretische Flutstundenlinien (Mondstunden) im Verbindungskanal Atlantischer Ozean—Nordsee und theoretische Hubhöhen (*m*) der Gezeiten bei Springflut an einzelnen Küstenpunkten.

gestellt, um den Vergleich zwischen Theorie und Beobachtung leichter und besser überblicken zu können.

Der erste Blick auf beide graphischen Darstellungen zeigt, daß wir es hier wohl mit einer sehr guten Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung zu tun haben. Im Englischen Kanal ist der Unterschied zwischen beiden Karten nur unbedeutend; wir sehen die Zusammendrängung der Flutstundenlinien an der durch die Halbinsel Cotentin verursachten Enge des Kanals, den allmählichen Übergang der Hafenzeit in den Gebieten westlich davon, das nahezu Konstantbleiben der Hafenzeit im ganzen östlichen Teil des Englischen Kanals, das Auftreten der Hafenzeit 11^h in einem

kleinen Gebiet östlich der Insel Wight und schließlich den Übergang der Hafenzeit in der Straße von Dover zu den Werten in den südwestlichen Teilen der Nordsee.

Diese nahezu völlige Übereinstimmung mit den Beobachtungstatsachen finden wir aber auch in befriedigender Weise bei den Hubhöhen. Daß die theoretischen Werte derselben meistens etwas kleiner als die beobachteten ausgefallen sind, war, wie wir bereits früher erwähnten, zu erwarten gewesen; es kommt auch nicht so sehr auf den absoluten Zahlenwert der Hubhöhe an, der immer mehr oder minder lokal beeinflußt sein kann, als vielmehr auf den Gang der Hubhöhenverteilung im Kanal und in dieser Beziehung ist die Übereinstimmung eine ausgezeichnete. Ohne weiteres erklärt die Theorie auch den Unterschied der Hubhöhen an der französischen und englischen Küste als Folge der ablenkenden Kraft der Erdrotation. Auf den Gang der Hubhöhen selbst kommen wir später noch zurück.

Fig 9.



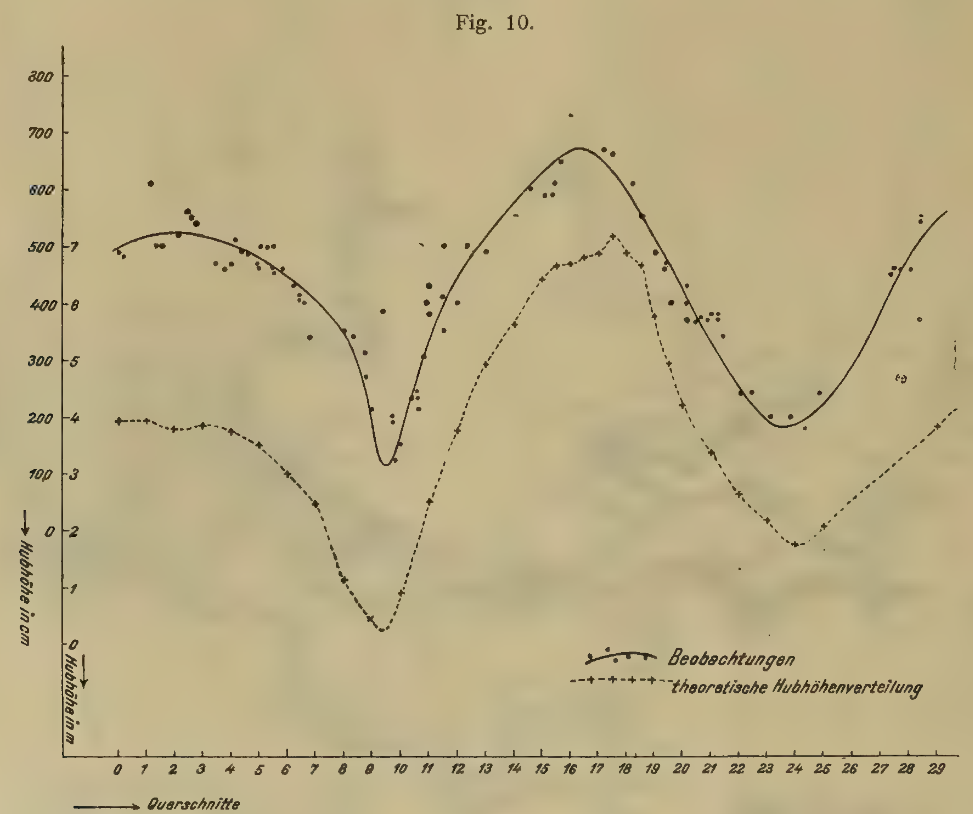
Die Flutstundenlinien (Mondstunden) im Verbindungskanal: Atlantischer Ozean—Nordsee und die Hubhöhen (m) bei Springflut an den einzelnen Häfen nach den Beobachtungstatsachen.

Auch in der südwestlichen Nordsee müssen wir mit der gefundenen Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung zufrieden sein. Vor allem ersehen wir, daß durch die Reibungseinflüsse die zur Entwicklung gelangende Amphidromie sich etwas ausgebreitet hat und dadurch sich mehr den Beobachtungstatsachen nähert. Es ist geradezu erstaunlich, wie gut im südwestlichen Teil der Nordsee, der theoretisch noch zugänglich ist, die Anordnung der theoretischen Flutstundenlinien mit jener der beobachteten übereinstimmt. Es ist deshalb kaum zu bezweifeln, daß die Wasserbewegung im nördlichen Teil dieses Kanalabschnittes so verlauft, wie angegeben wurde, wenn auch, wie wir wissen, hier die Grundlagen der Theorie nicht so feststehend sind.

An der englischen Küste ist die gefundene Größe und Verteilung der Hubhöhen analog jener der Beobachtungstatsachen; an der belgisch-holländischen Küste finden wir in Übereinstimmung mit den Tatsachen ebenfalls eine allmähliche Abnahme der Hubhöhe mit dem Weiterrücken gegen Nordosten, aber die theoretischen Hubhöhen sind von Anfang an (besonders an der belgischen Küste) wesentlich größer als die beobachteten. Für den Übergang zur Nordsee gibt die Theorie keine Werte.

Aus den Figuren 8 und 9 folgt also in eindeutiger Weise, daß bei Berücksichtigung der Grenzflächenreibung die hydrodynamische Theorie der Gezeiten alle wesentlichen Beobachtungstatsachen der Gezeitenerscheinungen im Englischen Kanal und in der südwestlichen Nordsee in völlig befriedigender Weise zu erklären vermag. Die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung ist stellenweise geradezu ausgezeichnet, sowohl was die Phase als auch was die Amplidude der periodischen Bewegung betrifft. An einzelnen Stellen weicht

Fig. 10.



Verteilung der Hubhöhen an der Nordküste des Englischen Kanals und der südwestlichen Nordsee (Hoofden).

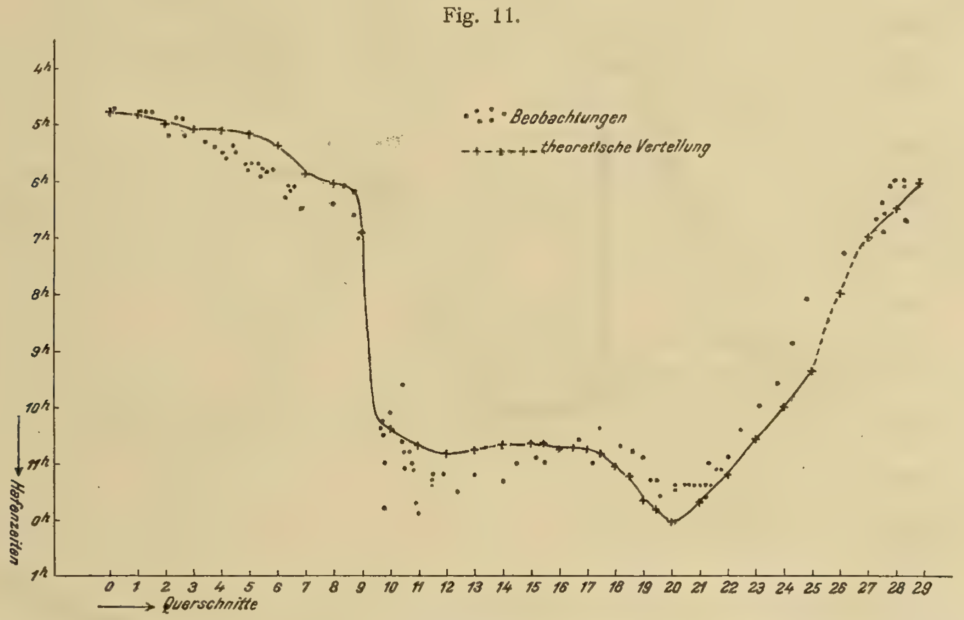
die Hubhöhe an Größe etwas von den beobachteten Werten ab, was nicht zu verwundern ist, wenn man bedenkt, daß die entwickelte Theorie dadurch, daß sie mit einzelnen, allerdings schmalen Querschnittsabschnitten als Elementen rechnet, doch nur eine erste Annäherung an die Wirklichkeit, also nur eine rohe Beschreibung der beobachteten Erscheinungen ergeben kann. Die gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung tritt in folgenden Figuren, die sich eingehender mit der Verteilung von Hubhöhe und Hafenzeit an beiden Küsten des Kanals befassen, noch deutlicher hervon.

Fig. 10 gibt eine graphische Darstellung der Hubhöhenverteilung, Fig. 11 eine solche der Hafenzeit an der Nordküste des betrachteten Kanals. Zum Entwurfe dieser Figuren wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Beobachtungswerte, wie sie in Tabelle 4 niedergelegt sind, benutzt. In diese Figur wurden auch durch kleine Kreuze die theoretischen Werte eingetragen und letztere durch eine Kurve, welche den theoretischen Verlauf des betreffenden Elements darstellt, miteinander verbunden. In Fig. 10 wurden die theoretische Verteilung und die beobachtete etwas gegeneinander in der Ordinate verschoben, um deutlicher den übereinstimmenden Gang der beiden Kurvenzüge hervortreten

zu lassen. Abgesehen von kleinen lokalen Abweichungen, die durch die Streuung der beobachteten Werte selbst um ihren Mittelwert wesentlich herabgesetzt werden und an Bedeutung verlieren, sind in beiden Figuren, die theoretische und tatsächlich beobachtete Verteilung der Hubhöhen und Hafenzeiten, identisch; so zeigt sich in beiden Kurven in großer Deutlichkeit die zwei Minima der Hubhöhe beim 8. bis 10. und beim 23. bis 25. Querschnitt und zwischen beiden das bedeutende Maximum westlich der Straße von Dover. In der Verteilung der Hafenzeiten fällt vor allem der rasche Übergang der Hafenzeit zwischen dem 8. und 11. Querschnitt auf, weiters die nahezu konstante Hafenzeit des östlichen Englischen Kanals und dann die Verfrühung derselben in der südwestlichen Nordsee. Die theoretische Kurve folgt nahezu ganz genau der durch die Punkte gegebenen beobachteten Verteilung

Ebenso geben Fig. 12 und 13 die graphische Darstellung von Hubhöhe und Hafenzeit für die Südküste des ganzen Verbindungskanals wieder, sowohl nach sämtlichen in Tabelle 4 gegebenen

Fig. 11.

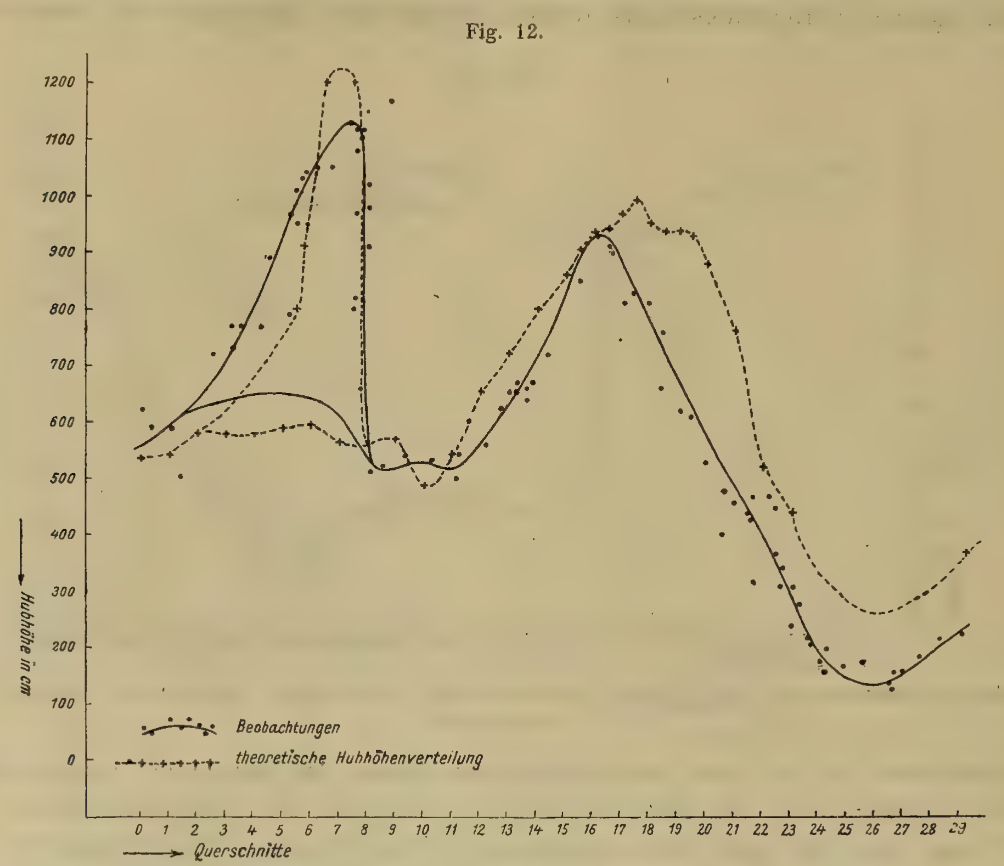


Verteilung der Hafenzeiten an der Nordküste des Englischen Kanals und der südwestlichen Nordsee (Hoofden) in Mondstunden.

Beobachtungswerten als auch nach den theoretischen Werten der Tabelle 17. Wieder ergibt sich bei der Hubhöhe, besonders was den Gang der Werte betrifft, bei der Hafenzeitverteilung auch in den absoluten Werten eine sehr gute Übereinstimmung. In Fig. 12 wurden zwischen dem 4. und 8. Querschnitt auch die Hubhöhen der Normannischen Bucht eingetragen und jene theoretischen Werte hinzugefügt, welche sich aus dem Mitschwingen derselben mit den Gezeiten des Kanals ergeben. Auch hier ist die Übereinstimmung befriedigend. Etwas groß ist, was die Größe der Hubhöhe betrifft, die Abweichung zwischen dem 17. und 22. Querschnitt, indem man hier theoretisch etwas größere Hubhöhen zu erwarten hätte, als die Beobachtungen ergeben; der Gang der Werte ist aber in beiden Kurven identisch. Vielleicht hätte man durch eine passendere Wahl der Grenzbedingungen auch in den absoluten Werten ein genaueres Übereinanderfallen der Kurven erzielen können; wir geben uns aber mit dieser Übereinstimmung zufrieden. Sehr gut stimmt in Fig. 13 die Anordnung der theoretischen Gezeiten mit den beobachteten Werten; vom Westende des Kanals bis zur Ostmündung in die Nordsee verspätet sich die Hafenzeit regelmäßig von 4^h über 12^h bis neuerdings 4^h und darüber hinaus bis 7^h. Ein Vergleich mit Fig. 11 zeigt, wie grundverschieden die Verteilung der Hafenzeit auf der Nordseite des Kanals ist und wie die hydrodynamische Theorie an beiden Küsten in auffallender Weise den Beobachtungen gerecht wird. Durch den Anblick beider Kurven wird wohl am deutlichsten bewiesen, was die hydrodynamische Theorie zu leisten vermag und daß sie die Gezeiten des betrachteten Verbindungskanals in einwandfreier Weise erklärt.

Wir haben noch keine Erwähnung getan von dem unregelmäßigen Verlauf der Gezeiten in den Häfen des Solent, bei der Insel Wight und an der holländischen Küste, wenn auch man erwarten könnte, daß eine »Theorie« der Gezeiten diese Unregelmäßigkeiten aufklärt. Wie bereits Börgen hervorgehoben hat, haben wir es hier wohl mit rein lokalen Störungen des Gezeitenverlaufes zu tun, die dadurch zustande kommen, daß durch die vergrößerte Reibung der Fluten an diesen Stellen der Verlauf der Gezeiten als eine einfache Sinuswelle gestört wird. Die Überlagerung mehrerer solcher gestörter Kurven, wie es die Theorie verlangt, ergibt aber auch eine unregelmäßige, abnorme Tidenkurve, die mehrere Maxima, bzw. Minima aufweisen kann, wenn die Extreme der einzelnen Komponenten bestimmte Lagen gegeneinander einnehmen. Es ist bemerkenswert, daß in den Häfen des Solent und bei der Insel Wight das zweite Hochwasser zwischen 0^h und 1^h eintritt und daß die Querschwingungen

Fig. 12.

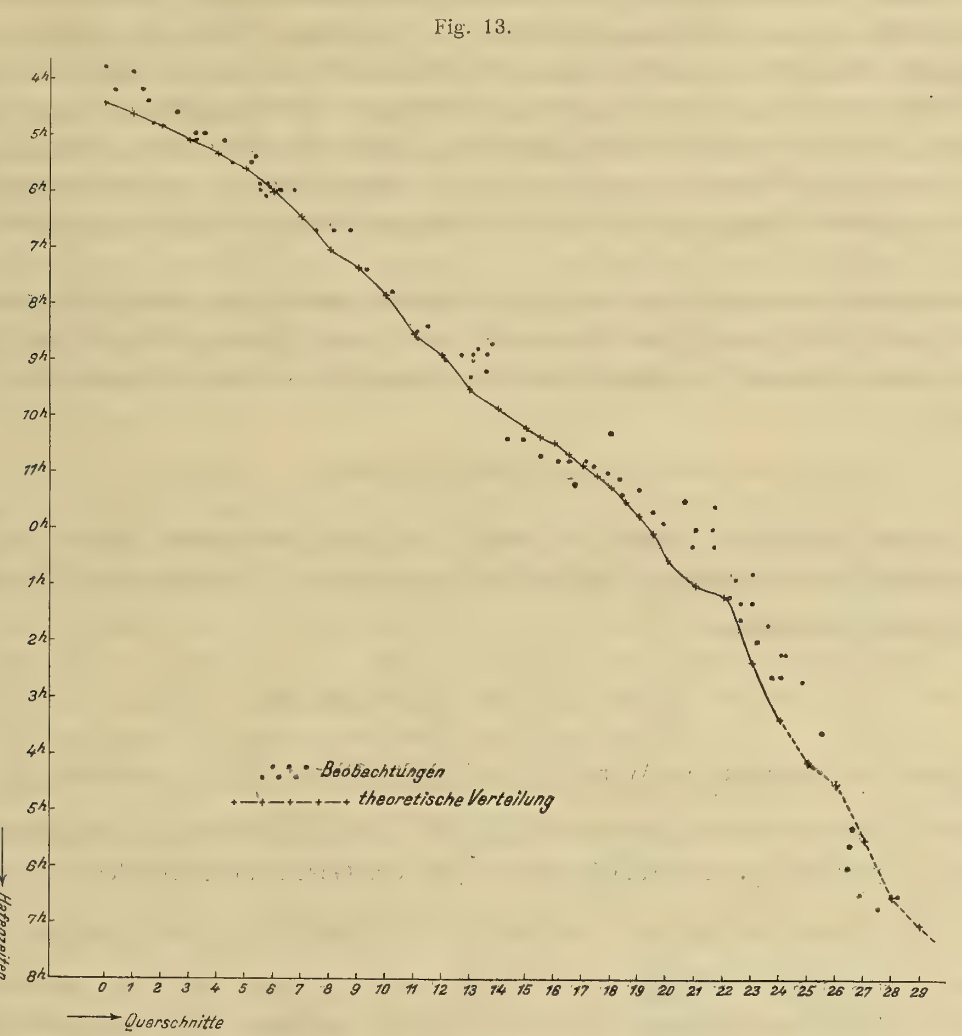


Verteilung der Hubhöhen an der Südküste des Englischen Kanals und der südwestlichen Nordsee (Hoofden).

an dieser Stelle ebenfalls Hafenzeiten zwischen 0^h und 1^h aufweisen. Ob dies Zufall ist oder ob es darauf hindeutet, daß man sich das zweite Hochwasser vielleicht durch die Überlagerung der Querschwingungen über die an dieser Stelle durch Reibung wesentlich in ihrer einfachen Form gestörten Längsschwingungen entstanden denken kann, wie man sich an einfachen Kurvenzügen überzeugen kann, müßte eigens untersucht werden. Auch das verlängerte Hochwasser der Havrebucht kann so erklärt werden; die Längsschwingung hat hier eine Hafenzeit von etwa $10 \cdot 2^h$, die Querschwingung eine solche von etwa 9^h. Die Überlagerung zweier solcher Kurven kann leicht, wenn ihre Form von jener einer einfachen Sinuswelle entsprechend abweicht, ein verlängertes Hochwasser ergeben. Ähnlich wären auch die doppelten Niedrigwasser an der holländischen Küste zu erklären; sicherlich sind alle diese abnormen Tidenkurven auf die Überlagerung von gestörten Schwingungskurven zurückzuführen, die durch die Reibungseinflüsse ihre einfache Sinusform eingebüßt haben; sie sind rein lokale Erscheinungen, an die küstennahen Gebiete beschränkt und hängen mit der »Theorie« der Gezeiten eigentlich nur wenig zusammen.

Wir gelangen zum Schlusse, daß die dargelegte hydrodynamische Theorie, was die Erscheinungen der vertikalen Verschiebung der Wassermassen des Verbindungskanals, also der Gezeiten im engeren Sinne des Wortes betrifft, alle Beobachtungstatsachen in der einfachsten Weise zu erklären vermag. Die Gezeiten des englischen Kanals und der südwestlichen Teile der Nordsee sind in ihrem Wesen nichts anderes, als die an einzelne Stellen durch den Einfluß der Grenzflächenreibung etwas modifizierten Mitschwingungsgezeiten der Wassermassen des Verbindungskanals mit den äußeren Gezeiten der Meere vor den beiden Mündungen der-

Fig. 13.



Verteilung der Hafenzeiten an der Südküste des Englischen Kanals und der südwestlichen Nordsee (Hoofden) in Mondstunden.

selben. Zu dieser Mitschwingungsgezeit treten noch Querschwingungen hinzu, die eine notwendige Folge der Einwirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen in der Längsschwingung der Mitschwingungsgezeit sind. Solange die hydrodynamischen Grundgleichungen gelten, müssen die Wassermassen des Verbindungskanals auf die angegebene Weise den äußeren Impulsen, die sie vom Atlantischen Ozean und von der Nordsee her zu erhalten, folgen.

Wenn auch die horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen, die theoretischen Gezeitenströme, mit der beobachteten übereinstimmen, so ist dies wohl eine weitere wesentliche Stütze für die dargelegte Theorie; inwieweit dies der Fall ist, wird im folgenden Abschnitt gezeigt werden.

9. Die Gezeitenströmungen im Verbindungskanal Atlantischen Ozean—Nordsee nach Theorie und Beobachtung.

In Tabelle 15 stehen für alle Querschnitte des Kanals neben der Hubhöhe und Hafenzeit auch die Größe und Phase der horizontalen Verschiebung der Wasserteilchen, sowohl der Atlantischen Welle als auch der Nordseewelle. Die Superposition dieser zwei periodischen Verschiebungen geben jene horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen im Kanal, welche notwendigerweise durch das Mitschwingen seiner Wassermassen mit den Gezeiten der äußeren Meere hervorgerufen werden. Bei dieser Superposition ist zu beachten, daß natürlich in beiden Wellen die positive Richtung der Bewegung dieselbe sein muß. Die Rechnung ergibt bekanntlich für beide ξ entgegengesetzte positive Richtungen. Wenn wir nun für die folgenden Erörterungen festsetzen, daß die positive Richtung der Bewegung stets von der Nordsee gegen den Atlantischen Ozean, also in der Hauptsache von Osten nach Westen gerichtet ist, so müssen wir bei der Nordseewelle die aus der Rechnung sich ergebende Phase um 6 Stunden erhöhen, um dieselbe Richtung der positiven x-Achse zu erhalten.

Die Zusammenfassung der zwei horizontalen Bewegungen steht in den ersten Kolonnen der Tabelle 18. Die Größe 2ξ wurde hierin auf $10\,m$ abgerundet. Aus diesen Werten läßt sich nun Richtung und Stärke der Gezeitenströmungen für jeden Zeitpunkt ableiten. Die Größe der horizontalen Verschiebung beträgt zur Zeit t:

$$\xi\,(x) = \xi \cos \frac{2\pi}{T}\,(t-H),$$

worin ξ die halben Werte der Tabelle 18 und H die dort angegebene Phase der horizontalen Bewegung bedeuten. Diese periodische Verschiebung wird mit einer Geschwindigkeit v ausgeführt, die durch $\frac{d\xi\,(x)}{dt}$ gegeben ist. Nun ist

$$\frac{d\xi}{dt} = 2\,\xi\,\frac{\pi}{T} \cos \frac{2\pi}{T}\,\{t-(H+9)\}.$$

Multiplizieren wir demnach die Werte 2ξ der Tabelle 18 mit $\frac{\pi}{T}$ und vermehren wir die dort angegebene Phase um 9^h, so erhält man Amplitude und Phase der Strömungsgeschwindigkeit an den einzelnen Querschnitten des Kanals. Man pflegt, die Geschwindigkeit der Gezeitenströmungen in Seemeilen pro Stunde anzugeben (1 Seemeile $= 1 \cdot 8528\,km$); es kommt dadurch zu $\frac{\pi}{T}$ nur ein multiplikativer Faktor hinzu; es zeigt eine kleine Rechnung, daß man aus den Werten 2ξ die Amplitude v der periodischen Strömungsgeschwindigkeit in Seemeilen pro Stunde erhält, wenn man sie mit $1 \cdot 413.10^{-4}$ multipliziert. Diese Werte stehen samt den dazugehörigen Phasen für alle Querschnitte in Tabelle 18 an zweiter Stelle.

Diese horizontalen Gezeitenströme erfolgen an jedem Querschnitt senkrecht auf denselben, also in der Längsrichtung des Kanals und bedeuten eigentlich einen Mittelwert der Gezeitenströmung am betreffenden Querschnitt. Durch die Querschwingungen, welche ihre Ursache in der ablenkenden Kraft der Erdrotation haben, kommen aber auch transversale, horizontale Verschiebungen der Wasserteilchen zustande, derart, daß die Bahnen der Wasserteilchen von der Längsrichtung des Kanals periodisch bald gegen die eine, bald gegen die andere Küste abgelenkt werden. Die Berücksichtigung dieser transversalen Verschiebung für die einzelnen Punkte eines Querschnittes hätte eine außerordentlich große Rechenarbeit erfordert, ohne daß das erzielte Resultat die langwierige Arbeit gelohnt hätte. Sind doch diese transversalen Verschiebungen und die daraus abgeleiteten Geschwindigkeiten, gegenüber denjenigen in der Längsrichtung des Kanals so klein, daß sie diesen gegenüber ganz zurück-

treten. Von einiger Wichtigkeit werden sie nur dort, wo die Breite des Kanals so groß wird, daß die Eigenperiode des Querschnittes sich der Periode der Längsschwingung sehr nähert; wir wissen, daß dies in den Hoofden der Fall ist und daß hier die Theorie nicht mehr jene Sicherheit in Anspruch nehmen kann, welche wir von ihr fordern. Trotzdem werden wir auch hier die Wirkung dieser transversalen, horizontalen Wasserverschiebung leicht abschätzen können. Wir sehen also zunächst von diesen zur Längsrichtung des Kanals transversalen Verschiebungen der Wasserteilchen ab.

Die Amplitudenverteilung der Geschwindigkeit im Kanal, die auch zugleich die Verteilung des an jedem Querschnitt auftretenden extremen Geschwindigkeitswerte angibt, zeigt zunächst, daß an verschiedenen Stellen des Kanals Maxima, an anderen Minima auftreten, daß also die Stärke der Gezeitenströmungen von Querschnitt zu Querschnitt variiert. Ein erstes Maximum mit 3·63 Seemeilen pro Stunde finden wir beim Querschnitt 9, also bei der durch die Halbinsel Cotentin verursachten Enge im Englischen Kanal; dann nimmt die Geschwindigkeit wieder etwas ab, erreicht ein Minimum von etwa 1·9 Knoten im östlichen Teil des Englischen Kanals beim Querschnitt 16, steigt dann rasch zu dem bedeutendsten Maximum in der Straße von Dover an, wo sie beim Querschnitt 19 ein Extrem mit 6·48 *m* pro Stunde erreicht. In den Hoofden findet dann ein allmählicher Abfall der Geschwindigkeit bis zur Mündung des Kanals in die Nordsee. Wir konstatieren hier zunächst nur, daß dieses Ergebnis der Theorie im ausgezeichneter Übereinstimmung mit den Beobachtungstatsachen steht; denn letztere zeigen, abgesehen von der Phase, Maxima der Geschwindigkeit in der Enge von Cap la-Hague—St. Albans Head und dann in der Straße von Dover; auch der Größenordnung nach stimmen die Stromstärken miteinander überein.

Was die Phase der Strömung betrifft, zeigt sich von der westlichen Mündung bis zur östlichen eine allmähliche Verspätung derselben, von etwa $9·5^h$ im Westen über 12^h und 6^h wieder auf 9^h und darüber hinaus auf etwa $11·5^h$. Es sieht fast so aus, als ob ein vom Atlantischen Ozean ausgehender Impuls zur horizontalen Bewegung des Wassers, sich auf die einzelnen Querschnittsabschnitte übertragend, allmählich gegen Osten hin fortpflanzt. Dem ist aber nicht so; denn ähnliche Impulse erfolgen auch von Osten her und pflanzen sich gegen Westen hin aus. Was wir beobachten, ist die Überlagerung beider Bewegungen; doch scheint es, daß die ersteren Impulse in der zur Ausbildung gelangenden Fortpflanzungsrichtung der Wellen Ausschlag geben.

Wollen wir die theoretisch gefundene mittlere Geschwindigkeitsverteilung im Kanal mit den Beobachtungstatsachen, die in übersichtlicher Weise in den Karten der »Gezeitenströmungen der Nordsee und den britischen Gewässern« zusammengefaßt sind, vergleichen, so müssen wir für jede Stunde die Geschwindigkeitsverteilung im ganzen Kanal nach den Werten der Tabelle 18 (zweite und dritte Kolonne) berechnen. Man pflegt die Strömungsverteilung im Englischen Kanal auf die Zeit des Hochwassers von Dover zu beziehen; wir wollen dies, um in Übereinstimmung mit den Karten der Gezeitenströmungen zu bleiben, ebenfalls tun. Da Hochwasser bei Dover bei den Syzygien nahezu genau um 11^h eintritt, bedeutet die absolute Zeit $t = 0^h$ mit genügender Genauigkeit 1 Stunde nach Dover-Hochwasser, die Zeit $t = 1^h$ 2 Stunden nach Dover-Hochwasser usw. $t = 5^h$ Niedrigwasser bei Dover und $t = 6^h$ 5 Stunden vor Dover-Hochwasser und endlich $t = 11$ Hochwasser bei Dover. Es ist nicht notwendig, die Geschwindigkeitswerte an jedem Querschnitt für alle 12 Stunden zu berechnen; es genügt, dieselben für die halbe Periode, zum Beispiel von 0^h bis 5^h zu kennen, da sie in der anderen Hälfte absolut gleich groß, jedoch mit entgegengesetzten Vorzeichen wiederkehren. Tabelle 18 enthält die Geschwindigkeitsverteilung für die Zeit $t = 0^h$ bis $t = 5^h$, also für die Zeit von 1^h nach Dover-Hochwasser bis Niedrigwasser bei Dover; für die andere Zeit gelten dieselben Zahlen, jedoch mit entgegengesetzten Vorzeichen. Wir erinnern noch daran, daß das positive Vorzeichen eine Geschwindigkeitsrichtung von der Nordsee gegen den Atlantischen Ozean, also von Osten nach Westen, das negative Vorzeichen hingegen eine Geschwindigkeitsrichtung von Westen nach Osten bedeutet. Diese Werte der Tabelle 18 enthalten also die theoretische Verteilung der Strömungsstärken

Tabelle 18.

Zusammenfassung der horizontalen Verschiebungen; die Gezeiten-

Querschnitt	Horizontale Verschiebung		Geschwindigkeit der Gezeitenströme		Geschwindigkeit zu den einzelnen Stunden in *Sm*/Stunde + in der Richtung von der Nordsee gegen den Atl. Ozean	
	2 ξ in *m*	Phase in Mondstunden	in *Sm*/Stunde	Phase	$t = 0^h$	1^h
0	5450	0·65^h	0·77	9·65^h	+ 0·26	— 0·14
1	5180	1·13	0·73	10·13	+ 0·41	+ 0·05
2	6260	1·66	0·88	10·66	+ 0·67	+ 0·30
3	6090	2·18	0·86	11·18	+ 0·78	+ 0·50
4	6750	2·72	0·95	11·72	+ 0·94	+ 0·74
5	8790	3·20	1·24	0·20	+ 1·24	+ 1·13
6	11460	3·62	1·62	0·62	+ 1·54	+ 1·59
7	14960	3·98	2·10	0·98	+ 1·83	+ 2·10
8	21450	4·41	3·02	1·41	+ 2·23	+ 2·95
9	25800	4·45	3·63	1·45	+ 2·65	+ 3·54
10	25300	4·62	3·57	1·62	+ 2·36	+ 3·38
11	25200	4·67	3·55	1·67	+ 2·28	+ 3·33
12	19400	4·90	2·73	1·90	+ 1·49	+ 2·44
13	16000	5·14	2·26	2·14	+ 0·98	+ 1·87
14	14200	5·58	2·00	2·58	+ 0·44	+ 1·35
15	13300	6·14	1·88	3·14	— 0·14	+ 0·82
15 *a*	13500	6·57	1·90	3·57	— 0·56	+ 0·42
16	13500	7·09	1·90	4·09	— 1·03	— 0·09
16 *a*	15600	7·67	2·20	4·67	— 1·69	— 0·76
17	20400	8·14	2·88	5·14	— 2·59	— 1·62
17 *a*	25000	8·54	3·53	5·54	— 3·43	— 2·55
18	35750	8·77	5·04	5·77	— 5·00	— 4·03
18 a	41600	8·93	5·87	5·93	— 5·86	— 4·97
19	45400	9·06	6·40	6·06	— 6·40	— 5·64
19 *a*	31400	9·28	4·42	6·28	— 4·37	— 4·11
20	23900	10·05	3·37	7·05	— 2·87	— 3·37
21	20700	10·82	2·92	7·82	— 1·69	— 2·65
22	18000	11·49	2·54	8·49	— 0·67	— 1·80
23	18200	0·06	2·57	9·06	+ 0·08	— 1·22
24	18600	0·50	2·62	9·50	+ 0·68	— 0·68
25	19300	0·74	2·72	9·74	+ 1·03	— 0·37
26	20200	1·03	2·85	10·03	+ 1·44	+ 0·01
27	17700	1·38	2·50	10·38	+ 1·65	+ 0·50
28	15400	1·80	2·17	10·80	+ 1·76	+ 0·88
29	12600	2·31	1·78	11·31	+ 1·66	+ 1·13

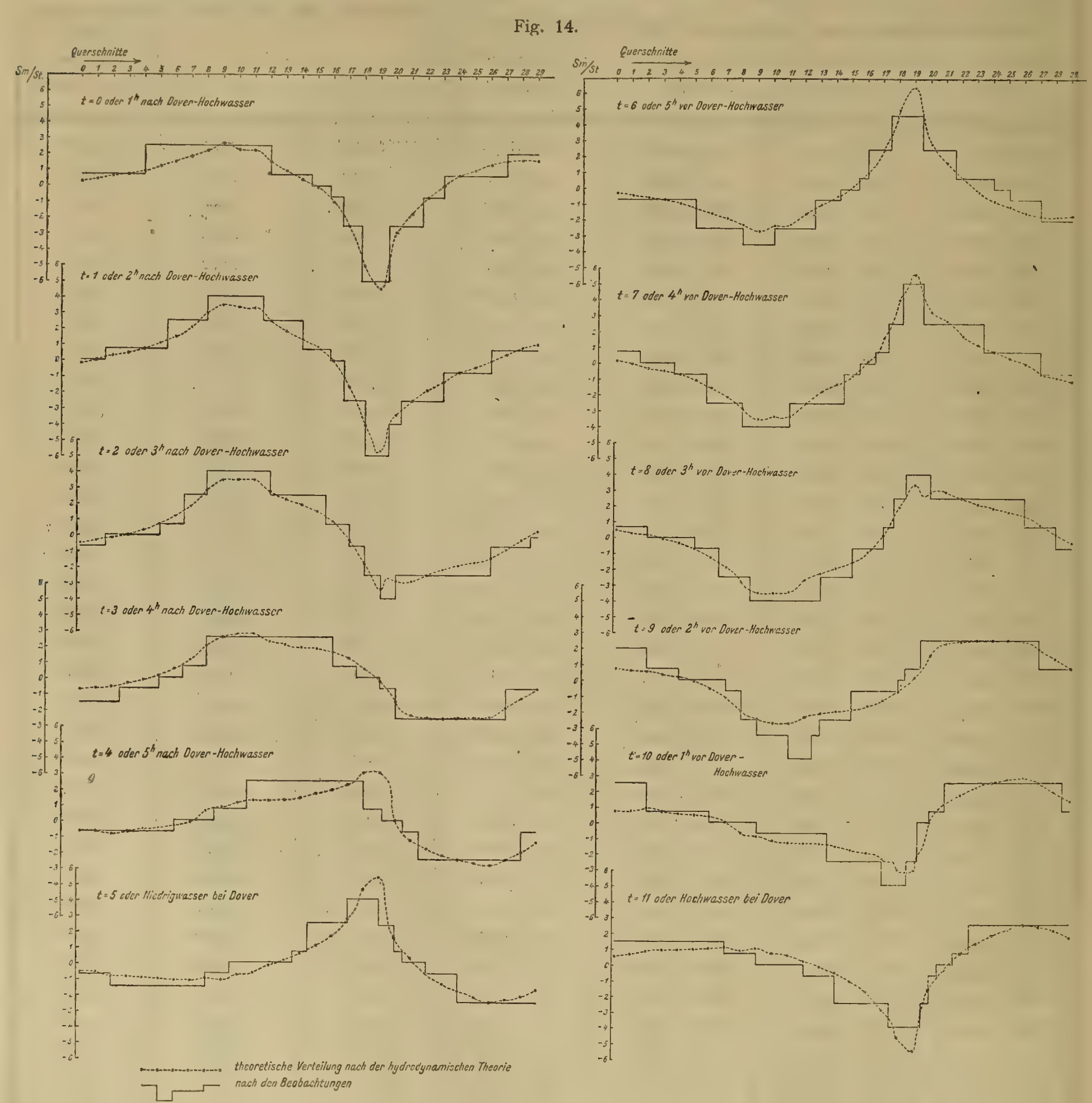
ströme im Verbindungskanal Atlantischer Ozean—Nordsee.

Geschwindigkeit zu den einzelnen Stunden in *Sm*/Stunde				Stauwasser tritt zur Zeit ein		Zeit des Hoch- bezw. Niedrigwassers — Zeit des Stauwassers Mittel zwischen N u. S-Küste
+ in der Richtung von der Nordsee gegen den Atlantischen Ozean						
$t = 2^h$	3^h	4^h	5^h			
— 0·50	— 0·74	— 0·77	— 0·59	0·65h	6·65h	3·97h
— 0·32	— 0·61	— 0·73	— 0·66	1·13	7·13	3·65
— 0·16	— 0·57	— 0·83	— 0·87	1·66	7·66	3·27
+ 0·08	— 0·36	— 0·70	— 0·86	2·18	8·18	2·91
+ 0·35	— 0·14	— 0·59	— 0·88	2·72	8·72	2·50
+ 0·73	+ 0·13	— 0·50	— 1·00	3·02	9·02	2·37
+ 1·22	+ 0·52	— 1·32	— 1·07	3·62	9·62	2·07
+ 1·81	+ 1·03	— 0·02	— 1·07	3·98	9·98	2·20
+ 2·88	+ 2·03	+ 0·64	— 0·92	4·41	10·41	2·34
+ 3·47	+ 2·49	+ 0·83	— 1·05	4·44	10·44	2·73
+ 3·50	+ 2·68	+ 1·14	— 0·71	4·62	10·62	4·51
+ 3·50	+ 2·72	+ 1·22	— 0·61	4·67	10·67	4·93
+ 2·73	+ 2·29	+ 1·24	— 0·14	4·90	10·90	4·97
+ 2·25	+ 2·03	+ 1·27	+ 0·16	5·14	11·14	5·00
+ 1·91	+ 1·95	+ 1·47	+ 0·59	5·58	11·58	4·68
+ 1·55	+ 1·87	+ 1·69	+ 1·06	6·14	0·14	4·28
+ 1·29	+ 1·82	+ 1·85	+ 1·39	6·57	0·57	3·93
+ 0·87	+ 1·60	+ 1·90	+ 1·69	7·09	1·09	3·62
+ 0·38	+ 1·41	+ 2·07	+ 2·17	7·67	1·67	3·04
— 0·21	+ 1·25	+ 2·38	+ 2·87	8·14	2·14	2·66
— 0·98	+ 0·84	+ 2·44	+ 3·39	8·54	2·54	2·40
— 1·98	+ 0·60	+ 3·02	+ 4·64	8·77	2·77	2·40
— 2·75	+ 0·22	+ 3·12	+ 5·19	8·93	2·93	2·44
— 3·37	— 0·20	+ 3·03	+ 5·44	9·06	3·06	2·65
— 2·74	— 0·65	+ 1·63	+ 3·47	9·28	3·28	2·66
— 2·96	— 1·76	— 0·09	+ 1·61	10·05	4·05	2·21
— 2·91	— 2·38	— 1·21	+ 0·27	10·82	4·82	1·60
— 2·46	— 2·45	— 1·79	— 0·65	11·49	5·49	3·71
— 2·18	— 2·57	— 2·26	— 1·35	0·06	6·06	3·43
— 1·85	— 2·53	— 2·53	— 1·85	0·50	6·50	3·17
— 1·67	— 2·52	— 2·70	— 2·15	0·74	6·74	2·98
— 1·41	— 2·46	— 2·85	— 2·48	1·03	7·03	4·77
— 0·80	— 1·88	— 2·45	— 2·37	1·38	7·38	5·12
— 0·23	— 1·28	— 1·98	— 2·16	1·80	7·80	3·70
+ 0·29	— 0·63	— 1·38	— 1·76	2·31	8·31	3·19

im betrachteten Verbindungskanal Atlantischer Ozean — Nordsee nach der hydrodynamischen Theorie.

In den von der Deutschen Seewarte herausgegebenen Karten der Gezeitenströmungen sowie in jenen, welche die Deutschen Gezeitentafeln enthalten, sind die Strömungen durch Pfeile angegeben, deren Länge und Dicke die Geschwindigkeit der Strömung in folgenden vier Stufen festlegen:

Fig. 14.



Die Gezeitenströme im Englischen Kanal und in der südwestlichen Nordsee (Hoofden), in Seemeilen pro Stunde (+ in der Richtung von der Nordsee gegen den Atlantischen Ozean.)

0—1·5 Seemeilen in der Stunde, 2—3, 3·5—4·5, 5 und mehr Seemeilen in der Stunde. Man kann demnach den einzelnen Strömungskarten für jede Stunde mit Leichtigkeit entnehmen, was für eine mittlere Geschwindigkeit und Richtung die Gezeitenströmung an einem bestimmten Querschnitte des Verbindungskanals vorhanden ist. Diese Schätzung wurde nun für alle 12 Stunden und für jeden Querschnitt vorgenommen und hiebei besonders auf die mittleren Teile des Kanals Rücksicht genommen, während die Küstengebiete, als lokal beeinflußt, weniger Beachtung fanden. In beigegebener Fig. 14

wurde nun für alle 12 Stunden einerseits die theoretische Verteilung der Geschwindigkeit nach Richtung und Stärke eingetragen, andererseits auch die beobachtete Verteilung, die auf dem eben angedeuteten Wege aus den Strömungskarten ermittelt wurde; letztere Verteilung konnte natürlich nur nach den vier Stufen, in denen die Strömungsstärke in den Karten angegeben ist, aufgenommen werden und weist daher einen stufenförmigen Gang auf. Es wäre natürlich möglich gewesen, diese Sprünge nach irgendeiner graphischen oder rechnerischen Methode auszugleichen; doch wurde davon abgesehen, um deutlich anzuzeigen, mit welcher Genauigkeit die beobachteten Werte im allgemeinen angegeben werden können und wie ursprünglich die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit im Kanal aussieht.

Ein Blick auf die graphischen Darstellungen längs des ganzen Kanals in Fig. 14 lehrt, daß die theoretischen Gezeitenströmungen im Verbindungskanal mit den in demselben tatsächlich beobachteten mit einer Genauigkeit übereinstimmen, die eigentlich nicht größer erwartet werden konnte. Wenn man bedenkt, daß einerseits die Messung der herrschenden Strömungsgeschwindigkeit an sich ziemlich schwierig ist, die Karten, aus denen die beobachtete Verteilung entnommen wurde, so genau sie auch die Stromverhältnisse angeben, doch nur aus einer großen Zahl von zeitlich von einander sicherlich weit abweichenden Beobachtungswerten gewonnen werden, also bestenfalls mittlere Strömungsverhältnisse anzeigen, andrerseits die aus der hydrodynamischen Theorie abgeleiteten Werte die der letzteren anhaftende, unvermeidliche Schematisierung enthalten, so muß man staunen, wie gut die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung, sowohl was die Richtung als auch was die Stärke der Gezeitenströmung betrifft, ist. Die Darstellung in Fig. 14 zeigt auch recht deutlich, wie eine Welle nach der anderen von Westen nach Osten den Kanal hinauflauft, wie das Maximum der Stromstärke einer bestimmten Richtung sich von Stunde zu Stunde weiter gegen Osten vorschiebt, während westlich davon ein Gebiet entgegengesetzter Richtung nachfolgt. Es ist wohl gänzlich überflüssig, näher auf diese Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung einzugehen. Sie zeigt wohl in unzweifelhafter Weise, daß die hydrodynamische Theorie der Gezeiten des Verbindungskanals für alle Erscheinungen in einfacher Weise eine Erklärung gibt. Nur noch einen Punkt möchte ich hervorheben, welcher deshalb von Interesse ist, weil Börgen ihn als den wichtigsten Einwand gegen Airy's Vermutung, daß die Gezeiten des Englischen Kanals als Gezeiten eines Verbindungskanals zweier gezeitenführenden Meere aufgefaßt werden können, erhoben hat. Airy's Ansicht bildet aber die Grundlage der hydrodynamischen Theorie des von uns betrachteten Verbindungskanals. Nach Börgen müßte (siehe p. 28) in dieser Theorie der Gezeiten Hoch-, beziehungsweise Niedrigwasser und Stromwechsel der Zeit nach nahezu zusammenfallen. Wir haben schon früher erwähnt, daß diese Behauptung nicht auf Richtigkeit beruht und können nun dies direkt beweisen. Tabelle 18 enthält in der vorletzten Kolonne die Zeit, in welcher an jedem Querschnitt Stromwechsel eintritt, also Stauwasser herrscht; in Verbindung mit den theoretischen Hafenzeiten der Tabelle 17 geben uns diese Zahlen das Zeitintervall zwischen Hoch-, beziehungsweise Niedrigwasser und Stauwasser für jeden Querschnitt; es steht im Mittel der Werte für die Nord- und Südküste in der letzten Kolonne der Tabelle 18.

Aus ihr entnehmen wir zunächst, daß Börgen's Behauptung in gar keiner Weise zutrifft; im Gegenteil, wir finden gerade jene Verhältnisse, die Börgen von einer Theorie verlangt, nämlich daß in Übereinstimmung mit den Beobachtungen »Stromwechsel mit Ausnahme der innersten Teile des Englischen Kanals, wo besondere Verhältnisse obwalten, etwa drei Stunden — oder eine Viertelperiode — den Extremphasen folgt.« In völliger Übereinstimmung mit den Tatsachen, die in Tabelle 5 und 6 niedergelegt sind, zeigt sich, wie dieses Intervall von dem Wert von etwa vier Stunden an der westlichen Mündung in den Atlantischen Ozean, gegen Osten fortschreitend, immer mehr an Größe abnimmt, im stromlosen Gebiet zur Zeit des Niedrigwassers bei Dover knapp westlich und südlich der Insel Wight Werte bei 2 bis 2·5 Stunden annimmt, um dann im Bereiche des östlichen Teiles des Englischen Kanals, also im Gebiete der Kanalstromscheide, rasch auf fünf Stunden emporzugehen. Sodann nimmt dieses Intervall, genau wie auch die Beobachtungen anzeigen, wieder an

Größe ab und erreicht das Minimum im Gebiete vor der Themsemündung und der belgischen Küste, wo es an der englischen Küste Werte nahe bei 0^h, an der belgischen nahe bei 2^h aufweist. Hierauf erfolgt wieder eine allmähliche Vergrößerung des Intervalls auf fünf Stunden.

Eine bessere Übereinstimmung war auch hier gar nicht zu erwarten, und jene Tatsachen, die Börgen so gerne gegen die hydrodynamische Theorie der Gezeiten angeführt hat, werden zum schlagenden Beweis für ihre Richtigkeit in ihrer Anwendung auf die Gezeiten des Englischen Kanals und der südwestlichen Nordsee.

Zum Schlusse wären noch die Strömungsverhältnisse in den Nebenbuchten des Verbindungskanals zu erwähnen. In allen diesen Buchten erfolgt theoretisch die horizontale Verschiebung der Wasserteilchen, da für alle das Verhältnis ihrer Eigenperiode zur Periode der Gezeiten kleiner als 1 ist, bei Flut gegen den Buchtausgang, bei Ebbe gegen das Buchtende. Tatsächlich finden wir dies auch in den Beobachtungen bestätigt. Von besonderer Wichtigkeit sind hierbei die Strömungsverhältnisse in der Normannischen Bucht. In Übereinstimmung mit den Beobachtungen erfolgt bei Flut die Strömung nach Norden, bei Ebbe nach Süden und die Werte der horizontalen Verschiebungen in Tabelle 8 lehren, daß wir es hiebei mit ganz beträchtlichen Stromstärken zu tun haben, die in der ganzen Bucht nur wenig voneinander abweichen. Daß in den Engen zwischen den Inseln und dem Festland an seichten Stellen außerordentlich große Stromstärken zur Beobachtung gelangen, ist sehr plausibel, wenn man bedenkt, daß in der Nähe ein Maximum der Strömung in der Längsrichtung des Kanals fällt und daß auch die aus, beziehungsweise in die Normannische Bucht erfolgende Strömung an sich schon sehr stark ist. Auch in der Themsemündung erfolgen bedeutende Gezeitenströme, die bei Flut stromabwärts, bei Ebbe stromaufwärts setzen. Diese Strömungen der Nebenbuchten bleiben aber gegenüber der Hauptströmung im Kanal nur kleine, lokale Erscheinungen.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß die hydrodynamische Theorie nicht nur alle vertikalen Bewegungen der Wassermassen des Verbindungskanals in einfacher Weise zu erklären vermag, sondern auch allen Erscheinungen der komplizierten horizontalen Verschiebungen der Wassermassen gerecht wird. Die entwickelte Theorie gestattete sowohl die Gezeiten des Verbindungskanals Atlantischer Ozean—Nordsee als auch die in demselben zur Ausbildung gelangenden Gezeitenströmungen zahlenmäßig zu berechnen. Beobachtung und Theorie stimmen in sehr befriedigender Weise überein und geben dadurch einen untrüglichen Beweis für die Richtigkeit der hydrodynamischen Theorie dieser Erscheinungen.

10. Die ganztägigen Gezeiten im Verbindungskanal Atlantischer Ozean—Nordsee.

Eine der auffallendsten Erscheinungen der westeuropäischen Tiden ist das nahezu völlige Zurücktreten der ganztägigen Fluten. Das Verhältnis der Sonnen- zu den Mondtiden ist durchwegs sehr klein und überall findet man charakteristische Halbtagsgezeiten. Auch in dem von uns betrachteten Kanal übersteigt der Eintagsindex der Gezeiten nur örtlich den Wert 0·1; auch in diesen Meeresteilen haben wir es also vorzugsweise mit reinen halbtägigen Gezeiten zu tun. Die allerdings wenigen Zahlenwerte, die aus der harmonischen Analyse der Aufzeichnungen einiger Stationen gewonnen wurden, bestätigen dies. Zu einer vollständigen Theorie der Gezeiten dieses Verbindungskanals gehört wohl auch der Nachweis, warum die Wassermassen desselben sich den von außen kommenden, allerdings auch sehr kleinen ganztägigen Impulsen so passiv verhalten, während, wie wir sahen, die halbtägigen Gezeiten zu imposanter Entwicklung gelangen. Es könnte möglich sein, daß die orographischen Verhältnisse des Kanals trotz der geringen äußeren ganztägigen Hubhöhen im Innern des Kanals größere Eintagstiden hervorrufen.

Daß dies nicht der Fall ist, zeigt nun die Anwendung der hydrodynamischen Theorie auf die Schwingungen ganztägiger Periode in ausgezeichneter Weise. Wir untersuchen wieder das Mit-

schwingen der Wassermassen des Kanals mit den äußeren ganztägigen Gezeiten vor den zwei Mündungen, genau nach der früher, bei den halbtägigen Gezeiten benutzten Methode; die Zusammensetzung der zwei getrennt ermittelten Wellen, der ganztägigen Nordseewelle und der ganztägigen Atlantischen Welle, gibt dann unter Berücksichtigung der durch die ganztägigen Gezeitenelemente der äußeren Meere vor den Mündungen gegebenen Grenzbedingungen wieder die ganztägige Mitschwingungsgezeit des ganzen Kanals mit den äußeren Gezeiten.

Die ganze Rechnung steht in wesentlich gekürzter Form in Tabelle 19, und zwar enthalten die ersten vier Kolonnen die Mitschwingungsgezeiten mit den einzelnen Meeren getrennt, unter der Voraus-

Tabelle 19.

Ganztägige Gezeiten im Verbindungskanal Atlantischer Ozean—Nordsee.

($T = 23 \cdot 93$ Stunden.)

Querschnitt	Nordseewelle		Atlantische Welle		Amplitudenverteilung Nordsee—Atlantische Welle		Zusammenfassung		Beobachtungstatsachen Gezeitenkomponente K_1:		
	q km^3	2η cm	q km^3	2η cm	η cm	η cm	η cm	Phase	Ampl. cm	Phase	Ost
0 *a*	+ 10·—	0·0	— 22·18	— 12·94	0	+ 8	8	150°			
1	+ 9·95	— 1·81	— 21·34	— 14·92	+ 2	+ 9	7	144°			
3	+ 9·70	— 4·11	— 19·45	— 19·34	+ 4	+ 12	10	140°			
5	+ 9·14	— 6·55	— 16·73	— 23·80	+ 7	+ 15	7	116°			
7	+ 8·30	— 8·93	— 13·57	— 28·35	+ 9	+ 18	10	132°			
9	+ 7·04	— 12·19	— 9·49	— 32·14	+ 12	+ 21	11	127°	9·1	112°	[Portland Breakwater
11	+ 6·12	— 15·88	— 6·98	— 37·14	+ 16	+ 24	11	119°	9·1	104°	Cherbourg
13	+ 4·49	— 18·46	— 3·08	— 40·56	+ 18	+ 36	21	135°	9·1	119°	Havre
15	+ 2·80	— 20·63	+ 0·64	— 41·65	+ 21	+ 37	19	128°			
17	+ 1·33	— 22·66	+ 3·45	— 39·86	+ 23	+ 35	15	119°			
19	+ 0·58	— 24·54	+ 4·66	— 31·17	+ 25	+ 20	9	38°	4·3	48°	Dover
21	— 1·02	— 24·17	+ 5·61	— 21·51	+ 24	+ 14	12	14°	5·5	354°	Ostende
23	— 3·36	— 22·16	+ 7·12	— 15·89	+ 22	+ 10	13	5°			
25	— 5·90	— 19·22	+ 8·52	— 11·14	+ 19	+ 7	13	1°	7·6	345°	Hock v. Holland
									7·6	350°	Ijmuiden
27	— 8·47	— 15·21	+ 9·45	— 6·38	+ 15	+ 4	12	356°	5·5	356°	Helder
29	— 11·72	— 10·68	+ 10·00	— 2·02	+ 11	+ 1	10	352°			
29 *a*	—	—	+ 10·00	0·0	—	0	0	350°			
					Phase 350°	150°					

setzung, daß an der gezeitenlosen Mündung $q = 10\ km^3$ beträgt und die Periode der ganztägigen Gezeit an der Mitschwingungsmündung jene der K_1-Komponente ist, also $23 \cdot 93$ Stunden beträgt; dann besitzen die benutzten Gleichungen folgende numerische Koeffizienten:

$$\text{für } \Delta x = 30 \cdot 6\ km \qquad \log 2\Delta\eta = \log 2\xi + 0 \cdot 219920 - 5$$

$$\text{für } \Delta x = 15 \cdot 3\ km \qquad \log 2\Delta\eta = \log 2\xi + 0 \cdot 918890 - 6$$

Aus beiden Hubhöhenverteilungen ersieht man, daß unter dem Einfluß äußerer ganztägiger Impulse sich das Wasserniveau des ganzen Verbindungskanals mit der äußeren Gezeitenbewegung gleichzeitig hebt und senkt, daß es also bei ganztägigen Gezeiten zu keiner Ausbildung von Knoten-

linien im Kanal kommt; dieses Resultat war eigentlich nicht erwartet worden; denn da wir als Eigenperiode des ganzen Verbindungskanals $T_f = 29 \cdot 45$ Stunden gefunden haben, folgt für die ganztägige Gezeit $\nu = 1 \cdot 23$ und bei einer solchen Verhältniszahl ergibt die Theorie (allerdings nur für Kanäle konstanten rechteckigen Querschnittes) eine Mitschwingungsgezeit mit einer Knotenlinie, etwa im ersten Drittel des Kanals. Wir ersehen daraus, daß man vorsichtig sein muß mit dem Übertragen von theoretischen Rechnungsergebnissen, die für Kanäle konstanter Breite und Tiefe gewonnen wurden, auf kompliziertere Fälle.

Zur Berechnung der Mitschwingungsgezeit mit beiden Meeren benötigen wir nun die Grenzbedingungen an den beiden Mündungen. Für die Ostmündung in die Nordsee haben wir durch Amplituden und Phasen der K_1-Komponente einiger Orte nahe dem Ausgange des Kanals in die Nordsee Kenntnis über die wahrscheinliche Amplitude und Phase der ganztägigen Gezeitenbewegung vor der Mündung. An der Westmündung stehen uns keine solchen Daten zur Verfügung. Wir müssen uns demnach hier mit einer Annahme begnügen. Wir werden aber in beiden Fällen gewiß nicht weit von der Wirklichkeit abweichen, wenn wir als Amplitude und Phase der ganztägigen Gezeit

vor der Westmündung (Atlantischer Ozean) $a_K = 8\,cm$ und $\varkappa = 150°$ und
vor der Ostmündung (Nordsee) hingegen $a_K = 11\,cm$ und $\varkappa = 350°$ wählen.

Mit diesen Werten erhält man die in der 5. und 6. Kolonne der Tabelle 19 enthaltene Amplitudenverteilung der beiden stehenden Wellen im Kanal; ihre Zusammenfassung gibt die ganztägige Mitschwingungsgezeit des Verbindungskanals mit den äußeren Gezeiten in Form einer fortschreitenden Welle. Sie steht in der 7. und 8. Kolonne der Tabelle 19. Aus ihr entnehmen wir, daß nahezu im ganzen Verbindungskanal die Amplitude der K_1-Komponente $15\,cm$ nicht überschreitet; in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen sind demnach die ganztägigen Gezeiten des betrachteten Kanals gegenüber den ganz bedeutenden Amplituden der Halbtagsgezeiten nahezu bedeutungslos. Auch die Phasenverteilung zeigt befriedigende Übereinstimmung mit den Beobachtungen: der westliche Teil des Verbindungskanals, vor allem der Englische Kanal selbst, hat Phasen bei etwa 120°, der östliche Teil, das ist die südwestliche Nordsee, hingegen Phasen bei 0° (360°). Zum Vergleich mit den Beobachtungsergebnissen wurden in Tabelle 19 bei den entsprechenden Querschnitten jene wenigen Daten über die ganztägige Gezeitenkomponente K_1, die aus der harmonischen Analyse der Registrierungen gewonnen wurden, beigefügt. Mit der Übereinstimmung muß man angesichts der nur rohen (ohne Berücksichtigung der Reibung) durchgeführten Rechnung und der Kleinheit der Amplituden dieser Welle sehr zufrieden sein.

Ein ähnliches Ergebnis würde man erhalten, wenn man die Periode der ganztägigen O-Welle ($T = 25 \cdot 82$ Stunden) der Rechnung zugrunde gelegt hätte Wir wollen uns hier damit nicht länger aufhalten. Der Zweck dieses Abschnittes war nur der Nachweis, daß die hydrodynamische Theorie für die ganztägigen Gezeiten des Verbindungskanals gegenüber den bedeutenden Hubhöhen der Halbtagsgezeiten bloß kleine Amplituden zuläßt, genau wie es die Beobachtungstatsachen verlangen; hiermit ist auch der überaus kleine Eintagsindex, der für die westeuropäischen Häfen typisch, auch für die Gezeiten der Kanalhäfen gilt, als Folgerung aus der hydrodynamischen Theorie der Gezeiten abgeleitet.

11. Die selbständigen Gezeiten des Verbindungskanals.

In den bisherigen Erörterungen wurden die gesamten Gezeitenerscheinungen des Verbindungskanals Atlantischer Ozean—Nordsee als unselbständige Gezeiten betrachtet, die im Kanal durch die Impulse, welche aus den offenen Meeren vor den Mündungen herstammen, angeregt werden; verschwinden letztere, so würde theoretisch auch der Verbindungskanal gezeitenfrei sein. Wir wollen

nun der Frage nähertreten, ob unter der Einwirkung der Anziehungskräfte von Sonne und Mond auch selbständige Gezeiten im Verbindungskanal zur Entwicklung gelangen können und welcher Form dieselben sind. Im I. Teil, 7. Abschnitt, wurde theoretisch nachgewiesen, daß in einem geraden Verbindungskanal konstanten, rechteckigen Querschnitts keine direkten selbständigen Gezeiten zur Ausbildung gelangen, wohl aber eine periodische Gezeitenströmung, die von der einen Mündung zur anderen geht, ohne daß eine periodische Niveauänderung vorhanden ist. Wäre der von uns betrachtete Kanal gerade, so würden wir demnach keine wesentlichen selbständigen Gezeiten zu erwarten haben. Da aber die Längsachse des Kanals gekrümmt ist, können leicht Komplikationen eintreten, die eine Änderung des einfachen Falles herbeiführen. Jedenfalls läßt sich aber auf Grund der Tatsache, daß die Eigenperiode des Kanals verhältnismäßig sehr groß ist und von der Periode der anziehenden Kräfte weit absteht, folgern, daß wenn überhaupt selbständige Gezeiten in der Längsrichtung zur Ausbildung gelangen, diese höchstwahrscheinlich ganz untergeordneter Natur sind. Haben wir doch im theoretischen Teil gesehen, daß die Amplituden der theoretischen Gezeiten, abgesehen von den Fällen, wo die Eigenperiode des Systems genau ein Vielfaches der Periode der Anziehungskräfte ist, überaus rasch an Größe abnimmt, je mehr die Eigenperiode von der Periode der Kraft absteht.

Um uns zu vergewissern, inwieweit die Krümmung des Kanals von Einfluß auf die selbständigen Gezeiten ist, wollen wir hier theoretisch den Fall kurz behandeln, in dem der Verbindungskanal beider Meere aus zwei Teilen ungleicher Längsrichtung, jedoch konstanten, rechteckigen Querschnitts besteht. Die Lösung dieses Falles, der analog der im III. Teil gegebenen Theorie der selbständigen Gezeiten eines einseits geschlossenen Kanals ist, gestattet das Ergebnis auch sinngemäß auf Kanäle variablen Querschnitts anzuwenden.

Fig. 15.

Der Kanal mit der Tiefe h besteht (siehe Fig. 15) aus den zwei Teilen I. und II. Im I. Teil wirkt in der Richtung der Längsachse auf die Wassermassen die periodische Kraft $k \cos(\sigma t + \varepsilon)$, die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen seien ξ und η. In der Entfernung $x = \lambda$ von der ersten Mündung setzt der II. Teil des Kanals an und reicht bis $x = l$. Hier wirke in der positiven Richtung der Längsachse die Kraft $k' \cos(\sigma t + \varepsilon')$ und die horizontalen und vertikalen Verschiebungen seien u und v. Da die zwei Meere vor den Mündungen bei $x = 0$ und $x = l$ der Einfachheit halber gezeitenfrei angenommen werden, lauten die Grenzbedingungen für alle Zeiten

$$\text{für } x = 0 \qquad \eta = 0, \qquad \text{für} \qquad x = l \qquad v = 0$$

und der Stetigkeit wegen für

$$x = l \qquad \xi = u, \qquad \eta = v.$$

Die Differentialgleichungen der Bewegung sind nun

im I. Teile:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + k \cos(\sigma t + \varepsilon) \qquad \text{und } \eta = -h \frac{\partial \xi}{\partial x} \tag{1}$$

im II. Teile:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + k' \cos(\sigma t + \varepsilon') \qquad \text{und } v = -h \frac{\partial u}{\partial x}$$

Die allgemeine Lösung dieser Gleichungen enthält vier freie Konstanten, die aus den Grenzbedingungen zu bestimmen sind. Setzt man die Differenz

$$k' \cos(\sigma t + \varepsilon') - k \cos(\sigma t + \varepsilon) = \gamma \cos(\sigma t + \rho)$$

so erhält man nach langwieriger Rechnung für die vertikalen Verschiebungen der Wasserteilchen in beiden Kanalteilen folgende Gleichungen:

$$\eta = -\frac{h\gamma}{c\sigma} \frac{\sin\frac{\sigma x}{c}}{\sin\frac{\sigma l}{c}} \sin\frac{\sigma}{c}(l-\lambda) \cos(\sigma t + \rho)$$

und

$$v = -\frac{h\gamma}{c\sigma} \frac{\sin\frac{\sigma \lambda}{c}}{\sin\frac{\sigma l}{c}} \sin\frac{\sigma}{c}(l-x) \cos(\sigma t + \rho) \tag{2}$$

Unter der Einwirkung der periodischen Anziehungskräfte entstehen also im gekrümmten Kanal Gezeiten, die auffallenderweise in jedem Teile nur von der geometrischen Differenz der zwei periodischen Kräfte abhängen; Gleichungen 2) lassen eine interessante Deutung zu.

Es ist physikalisch dasselbe, ob wir sagen, daß im Kanal I die Kraft k, im Kanalteil II die Kraft k' wirke, oder ob wir sagen, in beiden Kanalteilen I und II wirke die Kraft k und außerdem im Kanalteil II noch die Kraft $(k'-k)$. Nun lehrt die Theorie, daß die im g a n z e n Kanal wirkende Kraft k in demselben wohl eine Gezeitenströmung, die uns hier nicht weiter interessiert, jedoch keine Gezeiten hervorruft. Die Kraft k bleibt demnach ohne Wirkung; die Kraft $(k'-k)$ bedingt aber im II. Kanalteil Gezeiten, und diese müssen den Grenzbedingungen gemäß bei der Mündung $x = l$ $v = o$ und bei $x = l$ ein derartiges Verhältnis von $\frac{u}{v}$ ergeben, wie es aus den Mitschwingungen des I. Kanalteiles mit diesen Gezeiten folgt.

Nach den theoretischen Ergebnissen des I. Teiles sind wir leicht in der Lage letztere Erörterung auch in Gleichungsform niederzulegen, und tatsächlich zeigt sich, daß man für die vertikalen Verschiebungen auch nach dieser Überlegung genau zu den beiden Gleichungen 2 kommt.

Die zuletzt gegebene Deutung setzt uns aber in die Lage, auch für die Verbindungskanäle veränderlichen Querschnitts die selbständigen Gezeiten zu ermitteln. Zunächst berechnet man nach den gewöhnlichen Methoden für den Kanalteil I unter der Grenzbedingung für $x = 0$ $\eta = 0$ und bei willkürlicher Wahl der Größe q am nullten Querschnitt die Mitschwingungsgezeit bis zum Querschnitt $x = \lambda$; man erhält dann hier ein bestimmtes $\xi : \eta$. Nun beginnt man die Rechnung bei $x = l$ und rechnet unter der Grenzbedingung für $x = l$ $v = 0$ und bei zunächst willkürlichen q die selbständige Gezeit der Kraft $(k'-k)$ zurück bis $x = \lambda$; die Methode hiefür ist im I. Teil, Abschnitt 5 näher entwickelt. Man erhält bei $x = \lambda$ ein bestimmtes Verhältnis $\frac{u}{v}$, das mit den früher ermittelten $\frac{\xi}{\eta}$ nicht übereinstimmt. Man muß nun solange mit verschiedenen Werten von q diese Rechnung wiederholen, bis wirklich bei $x = \lambda$ $\frac{u}{v} = \frac{\xi}{\eta}$ wird. Das ist nur bei einem bestimmten Wert von q der Fall, und die für diesen Fall sich ergebende Hubhöhenverteilung im II. Kanalteil gibt die selbständige Gezeit dieses Kanalteils; durch die Hubhöhe v bei $x = \lambda$ erhält man dann auch die dazugehörige Mitschwingungsgezeit des I. Kanalteils. Die Rechnung mag langwierig sein, aber sie führt immer zum Ziel.

Wir wollen nun diese Überlegungen auf den Verbindungskanal Atlantischer Ozean—Nordsee anwenden. In erster Annäherung — und nur um die Ermittlung einer solchen kann es sich hier handeln — werden wir diesen aus zwei Kanalteilen verschiedener Längsrichtung betrachten dürfen: der westliche Kanalteil, den wir mit I bezeichnen, fällt mit dem Englischen Kanal, der östliche Kanalteil II mit der südwestlichen Nordsee (Hoofden) zusammen. Die Grenze können wir entsprechend der Fig. 5, welche auch die Längsrichtungen der Kanalteile angibt, am Querschnitt 17 annehmen.

Es wirkt nun in der Längsrichtung des Kanals auf die Wasserteilchen die periodische Kraft (siehe I. Teil, 2. Abschnitt, p. 26).

$$k = f\beta \cos\varphi \cos\frac{2\pi}{T}(t-H) \qquad \text{worin} \qquad \operatorname{tg}\frac{2\pi}{T}H = -\frac{\operatorname{tg}\varepsilon}{\sin\varphi}$$

und

$$\beta^2 = \sin^2\varepsilon + \sin^2\varphi\cos^2\varepsilon$$

ist.

Nun besitzen der Winkel ε, welcher die Abweichung der Längsrichtung des Kanals von der Meridiansrichtung angibt, und die mittlere geographische Breite φ in den einzelnen Kanalteilen folgende Werte:

im Englischen Kanal $\varepsilon = 105°$ und $\varphi = 50°$, daraus folgt $H = 8\cdot6^h$ und $\beta = 0\cdot986$
in der Nordsee $\varepsilon = 150°$ » $\varphi = 52°$ » » $H = 7\cdot2°$ » $\beta = 0\cdot846$

Im Englischen Kanal wirkt demnach in der Längsrichtung desselben die periodische Kraft

$$k = 7\cdot681\,.\,10^{-7}\cos\frac{2\pi}{T}(t-8\cdot6)$$

in den Hoofden hingegen die Kraft

$$k' = 6\cdot303\,.\,10^{-7}\cos\frac{2\pi}{T}(t-7\cdot2)$$

Aus diesen ergibt sich

$$(k'-k) = \gamma\cos\frac{2\pi}{T}(t-\rho') = 5\cdot17\,.\,10^{-7}\cos\frac{2\pi}{T}(t-4\cdot4)$$

Diese Kraft wirkte im II. Kanalteile allein und bewirkt dort selbständige Gezeiten, die den Grenzbedingungen gemäß beim Querschnitt 29 $v = 0$ und beim Querschnitt 17 ein derartiges Verhältnis von Hubhöhe zu horizontaler Verschiebung aufweisen müssen, daß der I. Kanalteil unter der Bedingung $\eta = 0$ am Querschnitt 0 mitschwingen kann.

Dieses Verhältnis können wir sofort angeben, da Tabelle 6 *a* das Mitschwingen des I. Kanalteils unter der Bedingung, daß am nullten Querschnitt (0 *a*) $\eta = 0$ ist, bereits enthält; wir finden dort, wenn wir statt ξ q nehmen, was dasselbe ist, beim Querschnitt 17 $\frac{2\eta}{q} = -\frac{47\cdot52}{10\cdot79} = -4\cdot42$. Dieses Verhältnis müssen auch die selbständigen Gezeiten des II. Kanalteils am Querschnitt 17 aufweisen. Die Gleichungen zur Berechnung der letzteren (siehe I. Teil, 4. Abschnitt, p. 28) sind folgende:

$$2\Delta\eta = \frac{4\pi^2}{gT^2}\Delta x\,.\,2\xi + \frac{2\gamma}{g}\Delta x \qquad\qquad 2\xi = -\frac{1}{S(x)}\int_0^x 2\eta\, b(x)\,dx$$

oder mit numerischen Zahlenwerten im vorliegenden Fall

bei $\Delta x = 30\cdot6$ *km* $\qquad 2\Delta\eta = 6\cdot2805\,.\,10^{-5}\,.\,2\xi + 3\cdot225\,.\,10^{-3}$
bei $\Delta x = 15\cdot3$ *km* $\qquad 2\Delta\eta = 3\cdot1402\,.\,10^{-5}\,.\,2\xi + 1\cdot612\,.\,10^{-3}$

Tabelle 20.

Selbständige Gezeit des Kanalteils II (Nordsee) unter Einwirkung der periodischen Kraft $\gamma \cos (\sigma t + \rho)$.

Querschnitt	q km^3	$2\Delta\eta$ cm	2η cm
17	— 0·500		+ 2·21
17 *a*	— 0·472	+ 0·98	+ 3·19
18	— 0·444	+ 1·16	+ 4·35
18 *a*	— 0·416	+ 1·24	+ 5·59
19	— 0·385	+ 1·25	+ 6·84
19 *a*	— 0·323	+ 0·79	+ 7·63
20	— 0·199	+ 0·44	+ 8·07
21	+ 0·121	+ 0·12	+ 8·19
22	+ 0·525	— 0·50	+ 7·69
23	+ 0·942	— 0·90	+ 6·79
24	+ 1·351	— 1·19	+ 5·60
25	+ 1·678	— 1·36	+ 4·24
26	+ 1·949	— 1·72	+ 2·52
27	+ 2·145	— 1·64	+ 0·88
28	+ 2·155	— 1·41	— 0·53
29	+ 2·161	— 1·33	— 1·96

Mitschwingungsgezeit des Kanalteils I (englischer Kanal) mit der selbständigen Gezeit des Kanalteils II.

Querschnitt	q km^3	2η cm
17	— 0·50	+ 2·21
16	— 0·54	+ 0·90
15	— 0·55	— 0·03
14	— 0·51	— 0·81
13	— 0·44	— 1·41
12	— 0·35	— 1·84
11	— 0·24	— 2·20
10	— 0·15	— 2·43
9	— 0·07	— 2·57
8	+ 0·11	— 2·66
7	+ 0·30	— 2·56
6	+ 0·51	— 2·35
5	+ 0·63	— 2·04
4	+ 0·74	— 1·70
3	+ 0·82	— 1·36
2	+ 0·87	— 1·01
1	+ 0·91	— 0·62
0 *a*	+ 0·93	— 0·00

Es ist vielleicht am bequemsten, die Rechnung gleich am Querschnitt 17 zu beginnen und bei willkürlicher Wahl von q, jedoch nach obigem Verhältnis fix gegebenen η die Rechnung so lange zu wiederholen, bis man am Querschnitt 29 $2\eta = 0$ erhält. Da jedenfalls die selbständigen Gezeiten nur geringe Hubhöhen aufweisen werden, wurde die Rechnung zunächst am Querschnitt 17 mit den Werten $2\eta = +8 \cdot 84$ *cm* und $q = -2 \cdot 0$ km^3 versucht. Am Querschnitt 29 erhält man $2\eta = -11$ *cm*; dieser Wert weicht von Null zu stark ab, doch zeigt die Rechnung, daß er sicher kleiner wird und sich der Null bald nähert, wenn wir das ursprüngliche 2η am Querschnitt 17 kleiner wählen. So erhält man für $2\eta = +4 \cdot 42$ *cm* und $q = -1 \cdot 0$ km^3 am 17. Querschnitt, am Querschnitt 29 $2\eta = -4 \cdot 56$ *cm*, hingegen mit den Werten $2\eta = +2 \cdot 21$ *cm* und $q = -0 \cdot 50$ km^3 am 17. Querschnitt, am Querschnitt 29 $2\eta = -1 \cdot 96$ *cm*. Tabelle 17 enthält diese letzte Rechnung; mit ihr begnügen wir uns; für etwa $2\eta = +1 \cdot 5$ *cm* am 17. Querschnitt hätte man am 29. Querschnitt $2\eta = 0$ erhalten; die selbständigen Gezeiten sind aber schon im mitgeteilten Fall, wie man sieht, so klein, daß es für zwecklos gehalten wurde, die Rechnung fortzusetzen.

Die selbständigen Gezeiten der Nordsee sind gänzlich belanglos und können wohl unberücksichtigt bleiben; ebenso ist es mit den selbständigen Gezeiten des Englischen Kanals; derselbe würde mit einer Hubhöhe von noch nicht 2 *cm* am 17. Querschnitt mitschwingen. Tabelle 9 *a* ergibt aber dann Hubhöhen, die sogar im Maximum 3 *cm* nicht übersteigen. Gegenüber den enormen Halbtagsgezeiten, die durch das Mitschwingen der Wassermassen des Kanals mit den äußeren Gezeiten bedingt sind, ja selbst gegenüber den kleinen ganztägigen Gezeiten treten die selbständigen Gezeiten des Verbindungskanals vollständig zurück; die periodischen Anziehungskräfte von Sonne und Mond vermögen in den Wassermassen des Kanals Atlantischer Ozean—Nordsee keine nennenswerte Gezeitenkomponente hervorzurufen.

12. Zusammenfassung.

Die in den vorhergehenden Abschnitten entwickelte hydrodynamische Theorie der Gezeiten beruht auf den schon von Airy ausgesprochenen Grundgedanken, daß die Gezeitenerscheinungen des vom Englischen Kanal und den südwestlichen Teilen der Nordsee (Hoofden) gebildeten Verbindungskanals zwischen dem Atlantischen Ozean und der eigentlichen Nordsee die Gezeiten eines zwei gezeitenführende Meere verbindenden Kanals sind. Die im I. Teile dieser Untersuchungen entwickelten Methoden gestatteten die schrittweise Ermittlung der Hafenzeiten und Hubhöhen dieser Mitschwingungsgezeit der Wassermassen des Kanals mit den äußeren Gezeiten vor den Mündungen. Die theoretischen Gezeiten, in denen die Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation auf die periodischen horizontalen Verschiebungen der Wasserteilchen in den Längsschwingungen durch Einführung passender Querschwingungen Berücksichtigung fand und die außerdem noch eine Modifikation durch die stellenweise infolge der geringen Tiefe des Meeres und seiner unregelmäßigen Bodengestaltung ziemlich bedeutende Grenzflächenreibung erleiden, stimmen mit jenen, welche aus den zahlreichen Beobachtungstatsachen abgeleitet wurden, in sehr befriedigender Weise überein. Vor allem erklärt die Theorie in einfacher Weise die wesentlich größeren Hubhöhen auf der französischen Seite des Englischen Kanals, die Zusammendrängung der Flutstundenlinien in der durch die Halbinsel Cotentin bedingten Enge, die nahezu unveränderte Hafenzeit im östlichen Englischen Kanal und schließlich die Amphidromie in den Hoofden. Sie gestattet die zahlenmäßige Berechnung der Hubhöhen an beiden Küsten des Verbindungskanals; ihr Verlauf deckt sich in allen wesentlichen Punkten mit dem beobachteten.

Für die der östlichen Mündung in die Nordsee nahen Kanalabschnitte konnte die Rechnung nicht mit jener wünschenswerten Genauigkeit wie sonst durchgeführt werden, da hier infolge des Umstandes, daß die Querschwingungen wegen der großen Breite des Kanals in ihrer Eigenperiode der Periode der Gezeiten sehr nahe kommen, die Theorie versagt. Die Kenntnis der Gezeiten in der Nordsee vor der Mündung und die berechneten in den Hoofden lassen eine genügend genaue Interpolation der Erscheinung für diesen kleinen Kanalabschnitt zu. Es besteht auch hier kein Zweifel, wie die theoretischen Gezeiten aussehen müssen.

Aber nicht nur in den vertikalen Erhebungen stimmen Beobachtung und Theorie auffallend gut überein, auch bei den periodischen, horizontalen Verschiebungen der Wassermassen, in den Gezeitenströmungen besteht völlige Übereinstimmung. Die in der Längsrichtung des Kanals theoretisch zur Ausbildung gelangenden Gezeitenströme wurden für jede Stunde berechnet und mit jenen verglichen, die aus den in den deutschen Gezeitentafeln enthaltenen Strömungskarten der britischen Gewässer und der Nordsee folgern. Richtung und Stärke der Ströme decken sich in Theorie und Beobachtung mit völlig genügender Genauigkeit. Die Theorie erklärt wieder vor allem die auffallende Verteilung des Zeitintervalls zwischen der Zeit des Hoch-, beziehungsweise Niedrigwassers und der Zeit des Stauwassers im Kanal und die Verschiebung der Stromscheidelinien im Verlaufe der Gezeitenperiode.

Zum Schlusse wurde noch nachgewiesen, daß die ganztägigen Gezeiten des Verbindungskanals wohl infolge der geringen Hubhöhen der Eintagsgezeiten der westeuropäischen Häfen unbedeutend sind; auch hier stimmen die theoretischen Werte mit den wenigen aus der harmonischen Analyse gewonnenen Daten befriedigend überein. Endlich wurden noch die durch die Anziehungskräfte von Sonne und Mond bedingten selbständigen Gezeiten des Kanals angenähert zu berechnen versucht. Ihre Amplitude ist, wie zu erwarten war, so klein, daß sie völlig belanglos ist und keine weitere Beachtung verdient.

So erklärt die hydrodynamische Theorie alle wesentlichen Erscheinungen der komplizierten Gezeiten des Englischen Kanals und der südwestlichen Nordsee in überaus einfacher Weise. Börgen's Bedenken gegen Airy's Vermutung, daß die Gezeiten der betrachteten Meeresteile in der Hauptsache die Gezeiten eines zwei gezeitenführende Meere verbindenden Kanals seien, haben sich nicht als stichhaltig erwiesen; denn gerade die von Börgen hervorgehobenen Schwierigkeiten haben durch die hydrodynamische Theorie die einfachste Lösung gefunden.

Inhalt.

NACHTRÄGE ZUR KENNTNIS DER NAUTILOIDEENFAUNA DER HALLSTÄTTER KALKE

VON

DR. CARL DIENER

W. M. A. W.

MIT 19 TEXTFIGUREN UND 3 TAFELN

VORGELEGT IN DER SITZUNG VOM 13. MÄRZ 1919

Obwohl die Nautiloideenfaunen der Trias an Formenmannigfaltigkeit hinter jenen des jüngeren Palaeozoikums zurückstehen, so bezeichnen sie doch insoferne einen Höhepunkt in der Entwicklung dieser Cephalopodenordnung, als sie jene Formengruppen enthalten, die entweder durch den Reichtum ihrer Schalenverzierung (*Pleuronautilus*) oder durch die Komplikation ihrer Suturlinie (*Gonionautilus*) ausgezeichnet sind.

Unter den triadischen Nautiloideenfamilien stehen jene des Mediterranen Reiches und in diesem wieder jene der alpinen Hallstätter Kalke in jeder Hinsicht oben an. Diese Superiorität des Mediterranen Reiches gilt für die triadischen *Nautiloidea* bekanntlich in noch erheblich höherem Maße als für die *Ammonoidea*. An den 28 Gattungen beziehungsweise Untergattungen derselben partizipiert das Mediterrane Reich mit 24, das Himamalayische mit 19, das Andine nur mit 6, das Boreale gar nur mit 3 Gattungen. Die durch den Supplementband des Jahres 1902 ergänzte erste Abteilung der großen Monographie der Hallstätter Cephalopoden von E. v. Mojsisovics gibt ein Bild des Reichtums der Nautiloideenfauna der Hallstätter Entwicklung unserer ostalpinen Trias.

Aufsammlungen in den Hallstätter Kalken des Salzkammergutes, die innerhalb der letzten 15 Jahre seit dem Abschluß jener grundlegenden Monographie gemacht worden sind, haben manches neue wertvolle Material zutage gefördert. Aus zwei österreichischen Sammlungen stand mir ein solches Material zur Verfügung, aus der prachtvollen Privatsammlung des Herrn Dr. A. Heinrich in Bischofshofen (Salzburg) und aus jener der Geologisch-Palaeontologischen Abteilung des Naturhistorischen Hofmuseums in Wien, die durch den im Jahre 1913 verstorbenen Abteilungsdirektor E. Kittl eine beträchtliche Erweiterung erfahren hat. Ein flüchtiger Einblick, den ich im Sommer 1916 in diese beiden Sammlungen erhielt, zeigte mir so viel des neuen und interessanten, daß mir eine Bearbeitung des noch nicht untersuchten Materials an Nautiloideen wünschenswert erschien. Herr Dr. Heinrich sowohl als der derzeitige Leiter der genannten Abteilung des Naturhistorischen Hofmuseums, Professor Dr. F. X. Schaffer, kamen meinem diesbezüglichen Wunsche in bereitwilligster Weise entgegen. Dafür sei ihnen auch an dieser Stelle mein verbindlichster Dank ausgesprochen.

Die Untersuchung der triadischen *Nautiloidea* in den beiden erwähnten Sammlungen bildet die Grundlage der vorliegenden Publikation. Die letztere enthält in erster Linie eine Beschreibung der neuen Arten. Bereits bekannte Spezies haben darin nur in jenem Falle Berücksichtigung gefunden, wenn die Beobachtungen an dem neuen Material Ergänzungen oder Berichtigungen unserer bisherigen Erfahrungen über dieselben geliefert haben.

Die weitaus überwiegende Mehrzahl der hier beschriebenen Arten stammt aus den Hallstätter Kalken des Feuerkogels bei Aussee, teils aus solchen julischen Alters (*Aonoides-* beziehungsweise *Ellipticus*-Schichten und *Subbullatus*-Schichten), teils aus der von A. Heinrich[1] entdeckten karnisch-norischen Mischfauna.

Das Studium der Nautiloideen der Hallstätter Kalke hat mich naturgemäß in die Notwendigkeit versetzt, zu der von E. v. Mojsisovics im Jahre 1902 (l. c. p. 203) vorgeschlagenen Einteilung der nautilikonen *Orthochoaniten* in die vier Familien der *Clydonautilidae, Syringonautilidae, Gryponautilidae* und *Temnocheilidae* Stellung zu nehmen.[2] Ich halte die von A. Hyatt und E. v. Mojsisovics angeblich auf genetische Prinzipien basierten Versuche einer Systematik der *Nautiloidea* keineswegs für geglückt. Wenn ich gleichwohl hier von einschneidenden Änderungen dieser Entwürfe absehen zu sollen glaube, so geschieht es, weil ich von deren Unfruchtbarkeit bei dem gegenwärtigen lückenhaften Stande unserer Kenntnisse überzeugt bin. Immerhin halte ich es für notwendig, eine Vereinfachung der von E. v. Mojsisovics vorgeschlagenen Systematik wenigstens in einem wesentlichen Punkte zu befürworten.

A. Hyatt und E. v. Mojsisovics begegnen sich in der Aufstellung der beiden Familien der *Grypoceratidae,* beziehungsweise *Gryponautilidae* und *Clydonautilidae.* Hyatt's Familie der *Pleuronautilidae* ist viel enger gefaßt als jene der *Temnocheilidae* bei E. v. Mojsisovics, denn sie umfaßt bei Hyatt außer dem triadischen Genus *Pleuronautilus* nur noch die permische Gattung *Pselioceras.* Daß *Phloioceras* Hyatt in die nächste Verwandtschaft von *Trachynautilus* Mojs. und nicht in Hyatt's Familie der *Rhineceratidae* gehört, die im übrigen durchwegs karbonische Elemente enthält, scheint mir durch die Untersuchungen von E. v. Mojsisovics sichergestellt (l. c. p. 239). Ebenso stimme ich mit dem letzteren Forscher durchaus in der Ansicht überein, daß *Syringoceras* Hyatt und dessen Verwandte von *Grypoceras* Hyatt zu trennen und zum Range einer besonderen Familie, *Syringonautilidae,* zu erheben seien. Diese Familie ist wohl eine der am besten charakterisierten und geschlossenen unter allen Nautiloideenfamilien der alpinen Trias.

Es bleibt somit noch das Verhältnis der *Grypoceratidae* — dieser ältere Name Hyatt's muß wohl mit Rücksicht auf das Prioritätsprinzip vor der von E. v. Mojsisovics herrührenden Bezeichnung *Gryponautilidae* den Vorzug erhalten — und der *Clydonautilidae* zu erörtern. Die Trennung dieser beiden Familien halte ich in keiner Weise für hinreichend begründet. In Hyatt's Diagnose derselben (l. c. p. 521) wird man vergebens nach einer Begründung suchen. E. v. Mojsisovocs stützt sich vor allem auf die Tatsache, daß bei den vier älteren Gattungen der *Clydonautilidae* ein Internlobus fehlt und nur *Gonionautilus* einen zweiteiligen Internlobus besitzt.

Ich vermag die Meinung von E. v. Mojsisovics (l. c. p. 203), »daß die Anwesenheit oder Abwesenheit eines Internlobus (Annular lobe Hyatt) ein vorzügliches Merkmal für die systematische

---

[1] A. Heinrich: Vorläufige Mitteilung über eine Cephalopodenfauna aus den Hallstätter Kalken des Feuerkogels am Röthelstein bei Aussee, die den Charakter einer Zwischen- und Übergangsfauna der karnischen und norischen Stufe aufweist. Verhandl. k. k. Geol. Reichsanst. 1909, p. 337.

[2] E. v. Mojsisovics zerlegt die triadischen *Nautiloidea* in die beiden Familien der *Orthoceratidae* und *Nautilidae* und unterscheidet innerhalb der letzteren wieder die vier oben genannten Familien (nicht Subfamilien), eine Inkonsequenz, die A. Hyatt vermieden hat, indem er die *Orthoceratidae* mit den zahlreichen nautilikonen Familien in eine gemeinsame Unterordnung *(Orthochoanites)* (Cephalopoda, in Zittel-Eastman »Text-book of Palaeontology«, London 1900, p. 517) zusammenfaßte.

Verwendung bei der Einteilung der nautilikonen Gruppen abgeben dürfte«, nicht zu teilen, glaube vielmehr, daß die Bedeutung dieses Merkmals für die Systematik der *Nautiloidea* von dem genannten Forscher erheblich überschätzt worden ist. Ich will ganz von den Schwierigkeiten absehen, die in der Möglichkeit liegen, den Internlobus an den Objekten selbst sichtbar zu machen. In der Tat wissen wir von mehr als der Hälfte der Spezies triadischer *Nautiloidea* nicht, ob sie mit einem Internlobus versehen waren. Sichergestellt erscheint allerdings die Tatsache, daß manche Formenreihen einen Internlobus erworben und später wieder verloren haben (*Nautilus s. s.*), während andere niemals einen solchen besaßen.

Unter Umständen kann daher dem Besitz oder der Abwesenheit eines solchen Internlobus nicht einmal ein generischer Wert zuerkannt werden. Dies ist zum Beispiel der Fall bei Gattungen, bei denen die Entwicklungstendenz sich geltend macht, den Internlobus zum Verschwinden zu bringen so bei der Gattung *Germanonautilus* Mojs.

Bei einigen alpinen Repräsentanten dieses Genus aus der *Trinodosus*-Zone, wie *G. Tintorettii* Mojs. und *G. salinarius* Mojs. konnte ein deutlicher Internlobus von E. v. Mojsisovics, beziehungsweise F. v. Hauer, konstatiert werden. Bei *G. bidorsatus* Schloth., dem Typus der Gattung aus dem deutschen Muschelkalk, ist seine Anwesenheit noch nicht sichergestellt. Bei *G. dolomiticus* Quenst. ist er nach Franz jedenfalls nur sehr schwach ausgeprägt, bei *G. Breunneri* Hau. aus der julischen Unterstufe fehlt er nach meinen Beobachtungen vollständig. *Germanonautilus* ist also eine Gattung, bei der man das Zurücktreten des ursprünglich vorhandenen Internlobus schrittweise bis zum vollständigen Verschwinden verfolgen kann. Es wäre verfehlt, *G. Breunneri,* bei dem der Internlobus gänzlich verloren gegangen ist, nur aus diesem Grunde von den übrigen Spezies der Formenreihe generisch zu trennen.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei *Hercoglossa* Conr. Auch in dieser Gattung vereinigt Hyatt Arten mit und ohne Internlobus (l. c. p. 522).

Grypoceras Hyatt und *Clydonautilus* Mojs. (beziehungsweise dessen unvergleichlich artenreicheres Subgenus *Proclydonautilus*) unterscheiden sich nur durch den Besitz beziehungsweise das Fehlen eines Internlobus. Innere Windungen von *Grypoceras* (*Gryponautilus*) *galeatum* Mojs. stimmen mit *Proclydonautilus buddhaicus* Dien. und *P. Griesbachi* Mojs. in einer großen Anzahl von Altersstadien so vollständig überein, daß eine Trennung ohne Kenntnis der Septen im Bereich des Internlobus überhaupt nicht möglich ist. Auch in den äußeren Elementen der Suturlinie weisen einzelne *Grypoceratidae,* wie *Grypoceras mesodicum* Hau. keinen Unterschied gegenüber *Proclydonautilus* auf.

Erscheint schon eine generische Trennung von *Grypoceras* und *Proclydonautilus,* die sich ausschließlich auf den Internlobus stützt, nicht unbedenklich, so läßt sich dieses Merkmal für eine Trennung von zwei Familien (*Grypoceratidae-Clydonautilidae*) schon gar nicht verwerten. Einen Beweis für meine Ansicht finde ich in der von E. v. Mojsisovics selbst vorgeschlagenen Gruppierung seiner *Clydonautilidae.* Er zieht zu dieser Familie vier Gattungen von sehr abweichender äußerer Gestalt, deren Suturlinie von einfachen, leicht gebogenen Kammerscheidewänden *(Paranautilus)* bis zu der komplizierten Lobenlinie von *Clydonautilus* fortschreitet, ohne einen Internlobus zu erwerben, zugleich aber als fünfte Gattung *Gonionautilus,* der durch den Besitz eines zweispitzigen Internlobus ausgezeichnet ist. *Gonionautilus* wurde von E. v. Mojsisovics an *Clydonautilus* offenbar mit Rücksicht auf die weitgehende äußere Ähnlichkeit angeschlossen. Diese ist in der Tat so groß daß die systematische Stellung einer Art wie *Nautilus Quenstedti* Hau., deren Internlobus man nicht kennt, unsicher bleiben muß.

Fragt man sich, wie die Zwischenform ausgesehen haben mag, die zwischen *Clydonautilus* ohne Internlobus und *Gonionautilus* mit zweigeteiltem Internlobus die verbindende Brücke geschlagen haben

soll, so kann sie sich von *Clydonautilus* nur durch den Besitz eines einfachen Intern- oder Spindellobus unterschieden haben, das heißt es müssen in ihr alle jene Merkmale vereinigt gewesen sein, die wir bei dem Genus *Grypoceras*, beziehungsweise bei dessen Subgenus *Gryponautilus* Mojs. finden. Wir müssen also auch, wenn wir die von E. v. Mojsisovics befürwortete Systematik der triadischen *Nautiloidea* akzeptieren, annehmen, daß Formen, die von *Grypoceras* auf keine Weise getrennt werden können, sich zwischen *Clydonautilus* und *Gonionautilus* einschieben. Die Trennung der *Clydonautilidae* von den *Grypoceratidae* als eine besondere selbständige Familie wird dadurch überflüssig.

Indem ich die *Grypoceratidae* Hyatt und die *Clydonautilidae* Hyatt emen. Mojs. unter dem ersteren Namen vereinige, begnüge ich mich mit einer Zerlegung der triadischen, nautilikonen Orthochoaniten in die drei Familien der *Temnocheilidae*, *Grypoceratidae* und *Syringonautilidae*.

Fam. Orthoceratidae.

Gen. **Orthoceras** Breynius.

Orthoceras Mojsisovicsi Salomon.

Taf. III, Fig. 3.

1895. *Orthoceras Mojsisovicsi* Salomon, Geolog. und Palaeontol. Studien über die Marmolata. Palaeontographica, XLII. p. 175, Taf. VI, Fig. 1, 2.

1899. *O. Mojsisovicsi* Tommasi, La fauna dei calcari rossi e grigi del Monte Clapsavon nella Carnia occidentale. Palaeontograf. Italica, V., p. 17, Tav. II, Fig. 3.

1906. *O. Mojsisovicsi* Martelli, Contributo al Muschelkalk superiore del Montenegro, ibidem, XII, p. 152.

1909. *O. Mojsisovicsi* Wilckens, Palaeontologische Untersuchg. triadischer Faunen aus der Umgebung von Predazzo. Verhandl. Naturhistor. Medizin. Ver. Heidelberg, N. F. X. p. 168.

1913. *O. Mojsisovicsi* Simionescu, Les Ammonites triasiques de Hagighiol (Dobrogea), Acad. Romana, Public. fund. Vasile Adamachi, Boucarest, No. XXXVI. p. 278, 347, Pl. V. Fig. 9.

1914. *O. Mojsisovicsi* De Toni, Illustrazione della fauna triasica di Valdepena. Mem. Ist. Geol. R. Università di Padova, II. p. 172.

1915. *O. Mojsisovicsi* E. v. Bülow, Orthoceren und Belemnitiden der Trias von Timor. Palaeontologie von Timor, ed. J. Wanner, IV. Liefg. p. II., Taf. LXI, Fig. 9, 10, LXII, Fig. 10.

Zu dieser horizontal und vertikal weitverbreiteten Form aus der Gruppe der *Orthocerata striata* gehört ein wohlerhaltenes Wohnkammerbruchstück von 58 *mm* Länge, dessen kreisrunder Querschnitt an dem oberen Bruchrand einen Durchmesser von 19 *mm* besitzt. Der Emergenzwinkel beträgt 5°, wie bei den von E. v. Bülow beschriebenen, timoresischen Stücken und einem Exemplar aus den karnischen Hallstätter Kalken des Röthelsteins, ist hingegen kleiner als bei Salomons Originalstücken aus dem Marmolatakalk ($8^1/_2$° bis $9^1/_2$°).

Die sehr charakteristische Oberflächenskulptur entspricht genau den Angaben W. Salomons. Die Rippen stehen dicht gedrängt und sind ebenso breit wie die Interkostalfurchen. Sie verlaufen nicht gerade, sondern beschreiben zwei nach vorne gerichtete, sehr flache Bogensegmente. Auf eine Länge von 1 *cm* zähle ich bei einem Durchmesser von 18 *mm* 26 Querrippen. Mit dem abnehmenden Durchmesser nimmt die Zahl der Rippen zu. Rippen und Interkostalfurchen sind glatt, ohne Andeutung von Knoten oder Leistchen.

An einer Stelle der Schale ist eine auffallende Unregelmäßigkeit in der Anordnung der Querrippen zu beobachten. Auf die bis dahin fast gerade über die Peripherie setzenden Rippen folgt hier plötzlich eine schmale Zone von Rippen, die in unregelmäßiger Krümmung ziemlich wirr nebeneinander laufen. Diese Unregelmäßigkeit ist wohl pathologischer Natur und vielleicht auf eine ausgeheilte Verletzung der Schale zurückzuführen.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Schiechlinghöhe, Zone des *Ceratites trinodosus,* 1, coll. Heinrich.

Die vertikale Verbreitung dieser Art, die bisher aus der ladinischen und karnischen Stufe bekannt war, hat durch diesen Fund abermals eine Erweiterung erfahren, indem nunmehr deren Hinabreichen bis in die Trinodosus-Zone festgestellt wurde.

Fam. Temnocheilidae.

Gen. **Mojsvaroceras** Hyatt.

Mojsvaroceras Nov. Sp. Ind.

Textfig. 1.

Von einer interessanten, neuen Art dieses Genus liegen mir zwei leider so unvollständig erhaltene Wohnkammerexemplare vor, daß von einer Speziesbenennung abgesehen werden muß. Das Interesse, das diese neue Art bedingt, liegt in der Kombination der für das Genus *Mojsvaroceras* bezeichnenden Flankenskulptur — plumpe Pilae, die in den breiten Externknoten auslaufen — mit einem Querschnitt, der den mit Lateralrippen versehenen Vertretern der karbonischen Gattung *Temnocheilus* Hyatt eigentümlich zu sein pflegt.

Der Umriß des Querschnittes hat die Gestalt eines Trapezoids mit mäßig gewölbter Externseite. Die größte Breite fällt mit der Externkante, beziehungsweise mit der Marginalzone zusammen, von der aus die Flanken gegen den Nabelrand konvergieren. Der Breitenunterschied in der Marginal- und Umbilikalregion verschärft sich mit zunehmendem Alter. Das größere der beiden mir vorliegenden Stücke zeigt bei einem Durchmesser von 75 *mm* gegen die Naht stärker nach einwärts geneigte Flanken, als das kleinere bei einem Durchmesser von 50 *mm.* Bei dem letzteren reichen die Pilae bis zum Nabelrande, bei dem ersteren obliterieren sie allmälich in der Umbilikalregion.

Fig. 1.

Mojsvaroceras sp. ind. Mündungsquerschnitt. Schiechlinghöhe. Trinodosuszone. coll. Heinrich.

Keine der von E. v. Mojsisovics aus dem alpinen Muschelkalk beschriebenen *Mojsvaroceras*-Arten, wie *M. Augusti, M. Morloti* oder *M. Neumayri,* zeigt einen ähnlichen Querschnitt. Wohl aber findet sich ein solcher bei *M. polygonium* v. Hauer (Beiträge zur Kenntnis der Cephalopoden aus der Trias von Bosnien I. Neue Funde aus dem Muschelkalk von Han Bulog, Denkschr. kaiserl. Akademie der Wissenschaften Wien, LIX. 1892, p. 255, Taf. I, Fig. 4. — II. Nautilen und Ammoniten mit Ceratitenloben aus dem Muschelkalk von Haliluci bei Sarajevo, ibidem LXIII. 1896, p. 243, Taf. IV, Fig. 1—4), das jedoch nahezu glatte Windungen besitzt. Unter den übrigen von E. v. Mojsisovics (Cephalopoden der Hallstätter Kalke, Abhandl. k. k. Geolog. Reichsanstalt VI/1, Suppl. 1902, p. 233) aufgezählten triadischen Vertretern des Genus *Mojsvaroceras* entfernt sich *M. subaratum* Keyserling (in Th. v. Middendorff's Sibirische Reise, IV/1, 1860, p. 250, Taf. IV, Fig. 1—3) jedenfalls am weitestens sowohl von unserer Spezies als dem Typus der Gattung *Mojsvaroceras* (*M. Neumayri*). Der herzförmige Querschnitt mit den abgerundeten, in den hochgewölbten Externteil allmälich übergehenden Flanken würde eine Trennung dieser Art von *Mojsvaroceras* und die Aufstellung eines besonderen Genus sicherlich rechtfertigen. Die generische Trennung von *Temnocheilus* Hyatt von *Endolobus* Meek et Worthen oder *Metacoceras* Hyatt ist auf erheblich geringere Unterschiede in der Gestalt des Querschnittes begründet.

Von den inneren Umgängen ist leider keine Spur erhalten geblieben. Ebensowenig habe ich Andeutungen des Sipho oder der Suturlinie gefunden.

Weder in der alpinen noch in der himamalayischen Trias scheint unsere Spezies direkt verwandte Arten zu besitzen.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Schreyeralm-Schichten der Schiechlinghöhe *Trinodosus*-Zone 2, coll. Heinrich.

Gen. **Pleuronautilus** Mojs.

Pleuronautilus (Holconautilus) Ramsaueri v. Hauer.

1855. *Nautilus Ramsaueri* F. v. Hauer, Beiträge zur Kenntnis der Cephalopodenfauna der Hallstätter Schichten. Denkschr. Kais. Akad. Wissensch. Wien, math. nat. Kl. IX. p. 144, Taf. I, Fig. 5, 6.

1873. *Nautilus Ramsaueri* v. Mojsisovics, Cephalopoden der Hallstätter Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst. VI/1, p. 19.

1892. *Pleuronautilus (Holconautilus) Ramsaueri* v. Mojsisovics, ibid. Supplement, p. 246, Taf. V, Fig. 4.

Zu dem einzigen, bisher bekannten Exemplar dieser seltenen Art aus den *Aonoides*-Schichten des Raschberges, das der Beschreibung F. v. Hauer's zugrunde liegt, ist nunmehr ein zweites aus den karnischen Hallstätter Kalken des Feuerkogels (Nr. A/I, 226, coll. Heinrich) hinzugekommen. Es ist durchaus gekammert, etwas kleiner und minder gut erhalten als F. v. Hauer's Originalstück. Von der inneren Windung konnte nur der letzte Abschnitt aus dem Gestein herauspräpariert werden. Die anhaftenden Schalenreste zeigen sehr schön die von F. v. Hauer und E. v. Mojsisovics erwähnte Gitterskulptur, in der jedoch die den Anwachsstreifen entsprechenden Querrippchen stärker als die feinen Spiralstreifen hervortreten. Der Verlauf der letzteren ist zumeist nur durch die zarten Knötchen angedeutet, die an den Kreuzungspunkten der beiden Streifensysteme stehen. In diesem Merkmal stimmt daher die Schalenbeschaffenheit der inneren Windung der vorliegenden Art genau mit jener des *Syringoceras Barrandei* Hau. überein.

Ein deutlich individualisierter Nabelrand mit schräge zur Naht abfallender Nabelwand stellt sich bei unserem Exemplar erst in der vorderen Hälfte der Schlußwindung ein.

Dimensionen.

Durchmesser	60 *mm*
Höhe der Schlußwindung	28
Dicke der Schlußwindung	34
Nabelweite	19
Perforation	?

Der Sipho steht sehr tief, an der Grenze des ersten und zweiten Viertels der Höhe der Schlußwindung über dem vorhergehenden Umgang. Einen Spindellobus konnte ich an dem von mir untersuchten Exemplar nicht beobachten, während sich die Anwesenheit eines solchen an dem Originalexemplar F. v. Hauer's feststellen ließ.

Pleuronautilus (Enoploceras) Lepsiusii Mojs.

Taf. I, Fig. 5.

1902. *Pleuronautilus (Enoploceras) Lepsiusi* E. v. Mojsisovics, Cephalopoden der Hallst. Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst. VI/1, Supplement, p. 244, Taf. X, Fig. 2.

Von dieser sehr seltenen Art ist mir ein Exemplar aus der coll. Kittl bekannt geworden, das in seinen Dimensionen, Involutions- und Querschnittsverhältnissen ebenso wie in seiner Ornamentierung mit dem von E. v. Mojsisovics abgebildeten Originalstück aus dem norischen Hallstätter Kalk des Dürnberges bei Hallein in vorzüglicher Weise übereinstimmt. Da auch die inneren Windungen an dem vorliegenden Stück tadellos erhalten erscheinen, kann die in bezug auf dieselben unvollständige Diagnose von E. v. Mojsisovics ergänzt werden.

Die Zahl der Umgänge beträgt $1^3/_4$, entsprechend einem Gehäusedurchmesser von 44 *mm*. Der Nabel ist perforiert, doch hält sich die Perforation in mässigen Grenzen. Die Skulptur macht sich schon auf der vorderen Hälfte des ersten Umganges mit aller Deutlichkeit bemerkbar.

Dimensionen.

Durchmesser	44 *mm*
Höhe der Schlußwindung	19
Dicke der Schlußwindung	26
Perforation	4
Nabelweite	13

Sipho. Unterhalb der halben Windungshöhe.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. — Feuerkogel, karnisch-norische Mischfauna 1, coll. Kittl (1909).

Pleuronautilus (Enoploceras) cf. Lepsiusii Mojs.

Taf. I, Fig. 6.

Dem *Pleuronautilus Lepsiusii* Mojs. steht ein größeres Wohnkammerfragment aus der karnisch-norischen Mischfauna des Feuerkogels so nahe, daß seine Zugehörigkeit zu dieser Art in Erwägung gezogen werden muß. Leider sind die inneren Umgänge vollständig zerstört, so daß eine Sicherheit in dieser Hinsicht nicht zu gewinnen ist.

In seinen Dimensionen übertrifft dieses Stück bei einem Schalendurchmesser von 70 *mm* das von E. v. Mojsisovics beschriebene und abgebildete Originalexemplar des *Pl. Lepsiusii* erheblich. Bei einem Durchmesser von 66 *mm* sind Höhe und Dicke der Schlußwindung einander bereits gleich (30 *mm*). Die hochwüchsigere Gestalt des Stückes wäre für sich allein wohl noch nicht ausreichend, um einen spezifischen Unterschied gegenüber *Pl. Lepsiusii* zu begründen. Eher könnte man einen solchen in der Skulptur der Wohnkammer erblicken. Die letztere unterscheidet sich von der Normalskulptur des *Pl. Lepsiusii* durch viel weiter abstehende jedoch stärker hervortretende Falten. Während bei *Pl. Lepsiusii* die Falten kaum angedeutet sind und gegenüber den Knoten ganz in den Hintergrund treten, spielen sie auf der Wohnkammer unseres Stückes eine den Marginalknoten und Lateralknoten mindestens ebenbürtige Rolle. Die Spirale der Umbilikalknoten verschwindet hier nahezu vollständig.

Andrerseits darf die Bedeutung dieser Skulpturunterschiede aus dem Grunde nicht überschätzt werden, weil noch am Beginn der Schlußwindung, soweit diese erhalten ist, die Normalskulptur des *Pl. Lepsiusii* mit drei Knotenspiralen und nur sehr schwach ausgeprägten Faltrippen entwickelt erscheint. Es ist also sehr wohl möglich, daß es sich bei unserem Stück lediglich um eine Veränderung der Skulptur im gerontischen Stadium des *Pl. Lepsiusii* handelt, das an den bisher bekannten kleineren Exemplaren noch nicht zur Beobachtung gelangt ist.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. — Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna 1, coll. Heinrich.

Pleuronautilus (Enoploceras) Lepsiusiformis nov. sp.

Taf. I, Fig. 2, 3.

Die vorliegende neue Art ist sehr nahe verwandt mit *Pleuronautilus (Enoploceras) Lepsiusii* Mojs. und unterscheidet sich von dieser insbesondere durch die Veränderungen der Skulptur der Externseite in vorgeschrittenen Wachstumsstadien.

Das kleinste der drei mir vorliegenden Exemplare, das ebenfalls bereits mit der Wohnkammer versehen ist, besitzt bei einem Durchmesser von 56 *mm* genau zwei Umgänge. Die beiden größeren Exemplare zeigen bei einem Schalendurchmesser von 82 *mm* mehr als $2^1/_2$ Umgänge. Der Nabel ist, wie bei *Pl. Lepsiusii,* von einem mäßig großen Loch durchbrochen.

Unsere Form ist hochmündiger als *Pl. Lepsiusii,* obwohl auch bei ihr die Höhe des rechteckigen Querschnittes von dessen Breite übertroffen wird.

Vollkommen erwachsene Exemplare stimmen in der Form des Querschnittes und in der Skulptur des Vorderabschnittes der Schlußwindung vollständig mit *Pl. Wulfeni* v. Mojsisovics (Cephalopoden der Hallstätter Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst. VI/1, Supplem. 1902, p. 243, Taf. X, Fig. 1) überein. Die Schalenoberfläche weist eine netzförmige Zeichnung auf, die aus der Kombination einer deutlich entwickelten, wenngleich zarten Längs- und Querstreifung entsteht. Der abgeplattete Externteil ist in der Mitte eingesenkt. Auf den Flanken erheben sich niedrige, weit voneinander abstehende, gegen vorne konvex geschwungene Falten.

Im mittleren Alter und in den Jugendstadien treten auf dem Externteil zwei Paare von Längskielen, wie bei *Pl. Lepsiusii,* auf. Allerdings bleibt das der Medianlinie genäherte Paar an Stärke hinter dem äußeren stets erheblich zurück. Die Ähnlichkeit mit *Pl. Lepsiusii* wird in diesem Altersstadium noch erhöht durch das Auftreten einer kräftigen Flankenskulptur. Die letztere besteht aus faltigen Rippen, denen wohlausgebildete Knoten in drei Reihen aufsitzen. An dem kleineren der beiden abgebildeten Exemplare sind die Knoten ziemlich unregelmäßig verteilt und von sehr ungleicher Stärke. Einzelne Knoten der mittleren Reihe treten besonders kräftig hervor.

Dimensionen.

	I.	II.
Durchmesser	56 *mm*	76 *mm*
Höhe der Schlußwindung	24	31
Dicke der Schlußwindung	27	34
Nabelweite	17	25
Perforation	5	ca. 5

Sipho. — Im unteren Drittel des Abstandes der beiden Externseiten von zwei aufeinanderfolgenden Windungen.

Loben. — Außer dem breiten, flach gespannten Laterallobus ist auch ein seichter Externlobus vorhanden.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. — Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna 3, coll. Heinrich.

Pleuronautilus (Enoploceras) cf. planilateratus Hau.

Taf. I, Fig. 4, Textfig. 2, 3.

Vgl. *Nautilus planilateratus* v. Hauer, Nachträge zur Kenntnis der Cephalopodenfauna der Hallst. Schichten Sitzungsber. kais. Akad. Wissensch. Wien, XLI. 1860, p. 119, Taf. II, Fig. 1—4. — E. v. Mojsisovics, Die Cephalopodenfauna der Hallstätter Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst. VI/1, Suppl. 1902, p. 241, Taf. IX, Fig. 3.

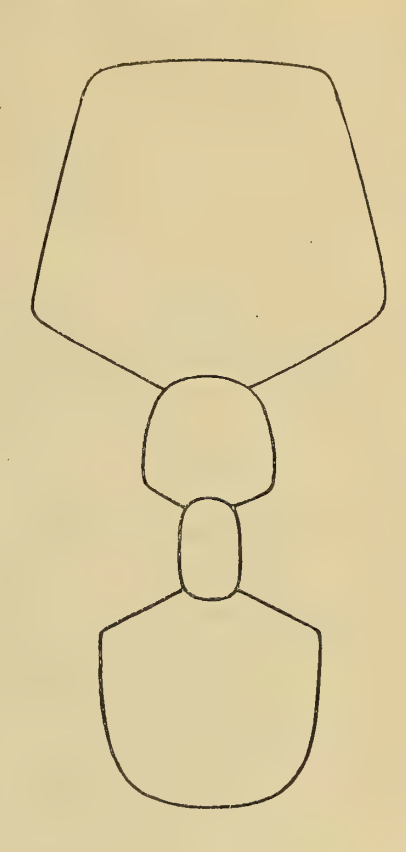
Zwei Exemplare einer kräftig berippten, aber fast knotenlosen Spezies des Genus *Pleuronautilus* aus den julischen Hallstätter Kalken des Feuerkogels unterscheiden sich von *Pl. planilateratus* Hau. nur durch die Dimensionen und die größere Zahl der Umgänge. An dem abgebildeten Stück, das bereits mit der Wohnkammer versehen, aber nicht vollständig erhalten ist, zähle ich über $2^1/_2$ Umgänge, während bei dem Originalexemplar F. v. Hauer's das Gehäuse aus höchstens zwei Umgängen besteht.

Bis zum Beginn der letzten Windung bietet unser Stück ein genaues Abbild des von F. v. Hauer beschriebenen Originalexemplars von *Pl. planilateratus.* Die Flanken sind schwach gewölbt,

durch eine deutliche Kante von der hohen, steil einfallenden Nabelwand geschieden, gegen die nahezu flache Externseite an einer gerundeten Marginalkante abgesetzt. Höhe und Breite des Querschnittes weichen nur wenig voneinander ab. Diese Querschnittsverhältnisse erfahren auch im Bereich der letzten Windung kaum eine Änderung, nur tritt die Marginalkante noch schärfer hervor.

Die Verzierung der Seitenteile besteht auf der vorletzten Windung aus leicht geschwungenen, ziemlich kräftigen Querrippen, die in der Nabelregion und am Externrand sehr schwache, in der Flankenmitte stärkere, radial verlängerte Auftreibungen zeigen. Doch treten diese knotenähnlichen Aufwölbungen den Rippen gegenüber an Bedeutung ebenso erheblich zurück, als an dem Originalexemplar F. v. Hauer's. Auf dem gekammerten Teil der Schlußwindung verschwinden sie fast gänzlich, während die faltigen Radialrippen noch persistieren. Die Wohnkammer scheint vollkommen glatt gewesen zu sein. Wenigstens entbehrt der Steinkern — die Schale ist an meinen beiden Stücken im Bereich der Wohnkammer nicht erhalten — jeder Andeutung einer Skulptur.

Fig. 2.



Pl. cf. planilateratus. Hau. Querschnitt. Feuerkogel, julische Hallst. Kalke. coll. Heinrich.

Dimensionen.

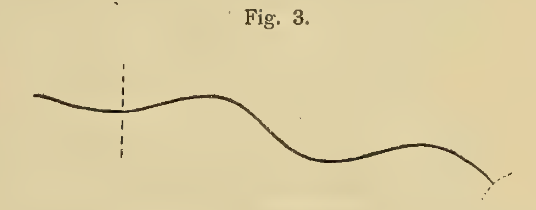
Durchmesser	112 *mm*	110 *mm*
Höhe der Schlußwindung	50	48
Dicke der Schlußwindung	55	56
Nabelweite	36	36
Perforation	4	?

Sipho. — In der Mitte zwischen der halben Windungshöhe und der Externseite des vorhergehenden Umganges.

Loben. — Übereinstimmend mit jenen des *Pl. planilateratus,* doch ist ein Externlobus durch eine schwache Einbuchtung der Suturlinie angedeutet, die bei einem Durchmesser von 85 *mm* sich geltend macht.

Die Zugehörigkeit unserer Stücke zu *Pl. planilateratus* Hau. ist sehr wahrscheinlich, jedoch nicht mit voller Sicherheit zu beweisen. Ich ziehe es daher vor, die spezifische Bestimmung desselben durch ein *cf.* einzuschränken.

Fig. 3.



Pl. cf. planilateratus Hau. Feuerkogel, *Elipticus*-Schichten, coll. Heinrich. Suturlinie.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. — Feuerkogel, *Ellipticus*-Schichten 1, coll. Heinrich, julische Hallstätter Kalke 1, coll. Heinrich.

Pleuronautilus (Enoploceras) Ausseanus nov. sp.

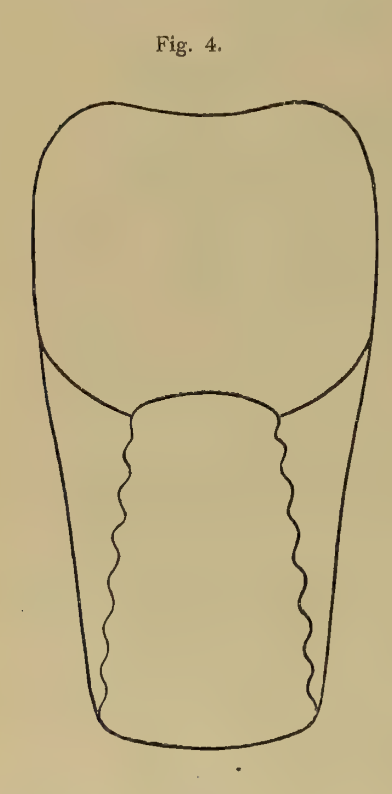
Taf. I, Fig. 1, Textfig. 4.

In den Aufsammlungen Heinrich's und Kittl's aus den Hallstätter Kalken des Feuerkogels ist eine neue Art der Gattung *Pleuronautilus* vertreten, die unzweifelhaft der Gruppe des *Pl. Wulfeni* Mojs. (Subgenus *Enoploceras* Hyatt) angehört.

Sie erreicht ziemlich ansehliche Dimensionen. Der Durchmesser des größten, nahezu mit seiner ganzen Wohnkammer versehenen Exemplars, das aus $2^1/_2$ Umgängen besteht, mißt 125 *mm*. In ihren Involutions- und Querschnittsverhältnissen stimmt sie mit *Pl. Wulfeni* v. Mojsisovics (Cephal. d. Hallstätter Kalke, l. c. VI/1, 1873, p. 10, Taf. VII, Fig. 3, Suppl. 1902, p. 243, Taf. X, Fig. 1) vollständig überein. Auch die Veränderungen, die die Gestalt des Querschnittes in den verschiedenen Altersstadien erfährt, sind durchaus die gleichen. Den gekammerten inneren Windungen entspricht ein gewölbter Externteil, der sich erst auf der Schlußwindung abplattet und in dem vorderen, der Mündung genäherten Abschnitt sogar eine deutliche, mediane Einsenkung aufweist.

Die Unterschiede der neuen Art von *Pl. Wulfeni* sind ausschließlich im Charakter der Lateralskulptur begründet. Diese ist bei *Pl. Ausseanus* insbesondere in den mittleren Altersstadien kräftig entwickelt und erinnert auffallend an jene bei *Ceratites trinodosus* Mojs. Aus schwach entwickelten Umbilikalknoten entspringen plumpe, fast gerade verlaufende Rippen, die sowohl in der Mitte der Flanken als am Externrande kräftige Knoten tragen. Da einzelne Rippen sich in den Lateralknoten gabeln, so ist die Zahl der Marginalknoten fast um ein Drittel größer als jene der Umbilikal- und Lateralknoten. Innerhalb des letzten halben Umganges zähle ich an dem abgebildeten Stück, das als Typus der Art zu betrachten ist, 14 Marginalknoten auf je elf Umbilikal- und Lateralknoten.

Fig. 4.



Pleuronautilus (Enoploceres) Ausseanus nov. sp. Seitenansicht der auf Taf. IV, Fig. 1 abgebildeten Exemplare.

Der Externteil entbehrt der Skulptur. Längskiele wie bei *Pl. Lepsiusii* oder *Pl. Lepsiusiformis* sind bei unserer Art selbst in den Jugendstadien nicht vorhanden. Eines meiner Stücke zeigt bei einem Schalendurchmesser von 37 *mm* keine Spur eines externen Knotenkieles, verhält sich vielmehr in bezug auf die Ornamentierung seiner Externseite genau wie gleich große Exemplare des *Pl. Wulfeni*.

Im gerontischen Stadium schwächt sich die Normalskulptur auch auf den Flanken ab. Die Rippen werden breiter und flacher, die Knoten sinken zu undeutlichen Anschwellungen herab.

Dimensionen.

Durchmesser	93 *mm*
Höhe } der Schlußwindung	40
Dicke } der Schlußwindung	49
Nabelweite	26
Perforation	6

Sipho. — Lage nicht bekannt.

Loben. — Nur ein weit gespannter Laterallobus vorhanden. Die Sutur übersetzt den Externteil in fast gerader Linie, ohne Lobenbuchtung.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. — Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna 2, coll. Heinrich, 2 coll. Kittl.

Gen. **Germanonautilus** Mojs.

Der Gattungsname *Germanonautilus* ist von E. v. Mojsisovics (Cephal. d. Hallst. Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst. VI/1, Suppl. 1902, p. 235) im Jahre 1902 für die Gruppe des *Nautilus bidorsatus* vorgeschlagen worden, die E. Zimmermann (Ein neuer Nautilus aus dem Grenzdolomit des thüringischen Keupers. Jahrb. kgl. Preuss. Geol. Landesanst. 1889, p. 322) und A. Foord (Catalogue of fossil Cephalopoda

in the Brit. Museum, Pt. II. Nautiloidea, 1891, p. 160) zu *Temnocheilus* Mc Coy gestellt hatten. Schon ein Jahr später hat V. Franz (Über *Nautilus bidorsatus* und seine Verwandten. Neues Jahrb. f. Mineral. etc., Beilagebd. XVII, 1903, p. 489) den Namen *Germanonautilus* wieder eingezogen und nachzuweisen versucht, daß *Nautilus bidorsatus* in dieselbe Gattung oder Untergattung der *Temnocheilidae* gehöre, wie *Nautilus Goliathus* Waagen aus dem Productuskalk der Salt Range. Da für *N. Goliathus* schon im Jahre 1892 von Hyatt das Genus *Foordiceras* errichtet worden sei, müsse — so meint er — der Name *Germanonautilus* dem älteren, wenn auch mit unrichtiger Diagnose aufgestellten Genusnamen Hyatt's weichen.

In meinem Katalog der triadischen Cephalopoden (Junk, Berlin, 1915, p. 329) habe ich mich für die Beibehaltung des Namens *Germanonautilus* für die Gruppe des *Nautilus bidorsatus* entschieden und auch — in Übereinstimmung mit E. v. Mojsisovics — deren alpine Verwandte in dieses Genus miteinbezogen. Die Gründe, die mich zu dieser Stellungnahme veranlaßten, sind die folgenden.

Den Ausgangspunkt aller Schlußfolgerungen von Franz bildet der Steinkern eines riesigen Nautiliden aus dem mittleren Productuskalk der Salt Range, der sich im Besitze des geologischen Institutes der Universität in Breslau befindet und von Franz mit *Nautilus Goliathus* Waag. identifiziert wird. Der rechteckige Querschnitt, die Entwicklung einer hohen, durch eine gerundete Umbilikalkante von den Seitenteilen getrennten Nabelwand, der subzentrale Sipho und ein übereinstimmender Verlauf der Suturlinie weisen auf eine so nahe Verwandtschaft dieser indischen Form mit *Nautilus bidorsatus* hin, daß beide in dieselbe Gattung oder Untergattung gestellt werden müssen. Die Frage, ob für *Nautilus bidorsatus* der Hyatt'sche Genusname *Foordiceras* in Geltung zu treten habe, hängt also ausschließlich davon ab, inwiefern Franz zu einer Identifizierung seines Nautiliden von Jabi mit *Foordiceras Goliathus* Waag. — für diese Spezies muß selbstverständlich der Genusname *Foordiceras* in Kraft bleiben — berechtigt war.

Von *Nautilus Goliathus* Waag., dem Typus der Gattung *Foordiceras* Hyatt. liegen drei authentische Exemplare vor: 1. das große, von W. Waagen (Palaeontologia Indica, ser. XIII. Salt Range Foss. Vol. I. Productus limestone Foss. 1879, p. 50, Pl. IV.) beschriebene und abgebildete, das seitlich zusammengedrückt ist, so daß der Nabel auf der einen Seite stärker als auf der anderen vertieft erscheint und eine genaue Abmessung der Dimensionen Schwierigkeiten bietet, 2. ein ganz ungenügend erhaltenes Bruchstück, das für die Artdiagnose nicht weiter in Betracht kommt, 3. das von A. Foord (Catalogue of the fossil Cephalopoda in the Brit. Museum, Pt. II. Nautiloidea, 1891, p. 154) beschriebene, abgewitterte, aber im ganzen gut erhaltene Exemplar im British Museum of Natural History in London.

Waagen beschreibt den Querschnitt seines Originalstückes als »breit trapezförmig, wobei die größte Breite ungefähr mit der abgerundeten Marginalregion zusammenfällt. Von dieser aus fallen die Seitenteile regelmäßig mit einer sanften Rundung ohne Intervention einer deutlichen Nabelwand oder eines Nabelrandes zur Naht ab«.

Über diese Diagnose setzt sich Franz (l. c., p. 487) mit der Behauptung hinweg, Waagen's Beschreibung sei ebenso wie die rekonstruierte Abbildung der mangelhaften Erhaltung des Materials halber ungenau und auf Grund der Beobachtungen an dem Breslauer Exemplar entsprechend zu modifizieren.

So einfach liegt jedoch die Sache keineswegs. Foord hat allerdings die Rekonstruktion der Abbildung Waagen's beanstandet, »die eher dazu bestimmt scheint, die Merkmale der Art als jene des der Art zugrundegelegten Individuums wiederzugeben«, keineswegs aber Waagen's Beschreibung getadelt, die er vielmehr (l. c., p. 156) als »sehr genau« bezeichnet. Da er überdies ausdrücklich erklärt, derselben auf Grund der Untersuchung seines Londoner Exemplars nichts hinzufügen zu können, so muß diese Beschreibung Waagen's auch weiterhin für die Diagnose des *Nautilus Goliathus* maßgebend bleiben. Als charakteristisches Merkmal für diese Art hat somit der an *Temnocheilus s. s.*

erinnernde trapezförmige Querschnitt mit in flacher Wölbung zur Naht konvergierenden Flanken zu gelten. Die von Franz beschriebene Spezies kann daher weder mit *Nautilus Goliathus* Waag. identisch sein noch überhaupt zur Gattung *Foordiceras* gehören.[1] Es ist durchaus möglich, daß sie als ein Vorläufer des *Nautilus bidorsatus* ihre systematische Stellung am besten in der Formengruppe der letzteren Spezies findet, die aber keinesfalls an *Foordiceras* Hyatt unmittelbar angeschlossen werden darf, sondern eben als Typus eines besonderen Genus oder Subgenus, *Germanonautilus* Mojs., zu betrachten ist.

Germanonautilus Breunneri v. Hauer.

Taf. III, Fig. 5.

1847 *Nautilus Breunneri* F. v. Hauer, Neue Cephalopoden von Aussee. Haidinger's Naturwissenschaftl. Abhandl., I, p. 262, Taf. VIII, Fig. 1—3.

1873 *N. Breunneri* E. v. Mojsisovics, Cephalopoden der Hallstätter Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst. VI/1, p. 13.

1902 *Germanonautilus Breunneri* v. Mojsisovics, l. c., Supplement, p. 240, Taf. IX, Fig. 2.

In seiner Beschreibung dieser Art sagt E. v. Mojsisovics (p. 240): »Ob ein Internlobus vorhanden ist, konnte leider nicht konstatiert werden.« Zwei ausgezeichnet erhaltene Exemplare aus der *Subbullatus*-Linse des Feuerkogels (coll. Heinrich) gestatten eine einwandfreie Beantwortung der Frage nach der Anwesenheit eines Internlobus.

Ein Internlobus fehlt. Die Kammerscheidewände laufen gegen den Externteil der vorhergehenden Windung vollkommen glatt und ohne Spuren einer Einbuchtung aus.

Das eine meiner beiden Exemplare ist mit seiner Wohnkammer versehen und übertrifft selbst das von E. v. Mojsisovics abgebildete Stück aus den *Aonoides*-Schichten des Raschberges an Größe.

Im übrigen stimmt es mit dem letzteren in allen wesentlichen Merkmalen so genau überein, daß an der Identität der Stücke aus der julischen und tuvalischen Unterstufe der Obertrias kein Zweifel aufkommen kann. Die Dimensionen dieses Exemplars sind die folgenden:

Durchmesser	132 *mm*
Höhe der Schlußwindung	68
Dicke der Schlußwindung	93
Nabelweite	23
Perforation	ca. 5

E. v. Mojsisovics bezeichnet (l. c., p. 235) die Anwesenheit eines Internlobus als ein charakteristisches Merkmal seines Genus *Germanonautilus*, als dessen Typus er *Nautilus bidorsatus* Schloth. aus dem deutschen Muschelkalk betrachtet. Gerade bei *N. bidorsatus* jedoch erscheint die Entwicklung eines Internlobus noch keineswegs sicher. Allerdings bemerkt E. v. Mojsisovics, daß A. v. Koenen über seine Bitte einige Exemplare der deutschen Spezies untersucht und an ihnen einen Internlobus nachgewiesen habe. Demgegenüber gibt jedoch V. Franz (Über *Nautilus bidorsatus* und seine Verwandten. Neues Jahrb. f. Mineral. etc. Beilagebd. XVII, 1903, p. 497) an, daß an dem echten *Nautilus bidorsatus* die Existenz eines Internlobus nicht festgestellt werden konnte, ein schwach ausgeprägter Internlobus hingegen bei dem sehr nahe verwandten *Nautilus dolomiticus* Quenst. (l. c., p. 492) vorhanden sei. Auch die Liste der alpinen Arten des Genus *Germanonautilus*, bei denen ein Externlobus nachgewiesen erscheint, ist durchaus nicht lückenlos.

---

[1] Von anderen Unterschieden (geringere Umhüllung der Umgänge, größere Nabelweite, schwächere Berippung) der neuen Art aus der Salt Range, für die man den Namen *Germanonautilus Franzii* in Vorschlag bringen könnte, soll hier abgesehen werden.

E. v. Mojsisovics rechnet die folgenden sieben Spezies aus der alpinen Trias zu *Germanonautilus:*

Nautilus privatus Mojs.
» *Tintorettii* Mojs.
» *salinarius* Mojs.
» *sp. ind. aff. salinario* (Cephal. Mediterr. Triasprov., p. 282, Taf. XCII, Fig. 1)
» *Cassianus* Mojs.
» *Breunneri* Hau.
» *Schlönbachi* Mojs.

Über die systematische Stellung der an erster Stelle genannten Art dürften Zweifel berechtigt sein. Wenn E. v. Mojsisovics (l. c., p. 227) *Nautilus quadrangulus* Beyr. zu *Grypoceras* Hyatt., nicht zu *Germanonautilus,* stellt, so ist nicht einzusehen, warum *Nautilus privatus* nicht ebenfalls dieser Gattung zugerechnet werden sollte. Die sehr große äußere Ähnlichkeit beider Arten ist von E. v. Mojsisovics selbst bei einer früheren Gelegenheit (Cephalopoden der Mediterranen Triasprovinz, l. c., p. 284) betont worden. Als einziger Unterschied wird die Entwicklung eines flachen Externlobus bei *Nautilus quadrangulus* angegeben, während bei *N. privatus* die entfernter stehenden Kammerscheidewände in gerader Linie über den Externteil ziehen.

Sieht man von *Nautilus privatus* mit Rücksicht auf dessen zweifelhafte systematische Stellung ab, so erscheint ein Internlobus bisher nur festgestellt bei *Germanonautilus Tintorettii* durch E. v. Mojsisovics und bei *G. salinarius* durch F. v. Hauer (Die Cephalopoden des bosnischen Muschelkalkes von Han Bulog bei Sarajevo. Denkschr. kais. Akad. Wissensch. Wien, math.-nat. Kl., LIV, 1887, p. 13). Die Internseite des *Germanonautilus sp. ind. aff. salinario* Mojs., *G. Cassianus* und *G. Schloenbachi* ist nicht bekannt. Für *G. Breunneri* steht nunmehr die Abwesenheit eines Internlobus fest.

Ich erblicke in dieser Tatsache den Beweis, daß die jüngsten Repräsentanten des Genus *Germanonautilus* den Internlobus, der bei einigen der älteren alpinen Formen noch vorhanden war, verloren haben — schon bei den Typen im deutschen Muschelkalk ist er nur mehr sehr schwach ausgeprägt — aber keinen Grund für eine Ausschließung des *Nautilus Breunneri* aus dem Formenkreise des *N. bidorsatus* Schloth. Der dürftig entwickelte Internlobus bei *N. dolomiticus* Quenst. wäre mithin als ein Rudiment, nicht als ein Oriment im Sinne Abel's aufzufassen.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel, *Subbullatus*-Schichten 2, coll. Heinrich (Nr. 537).

Fam. Grypoceratidae.

Gen. **Paranautilus** Mojs.

Paranautilus modestus v. Mojsisovics.

Taf. III, Fig. 2.

1873 *Nautilus modestus* v. Mojsisovics, Cephalopoden der Hallstätter Kalke. Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst., VI/1, p. 29, Taf. XV, Fig. 2.

1891 *Nautilus modestus* Foord, Catalogue Foss. Cephalopoda in the Brit. Museum, Pt. 2, p. 186.

1902 *Paranautilus modestus* v. Mojsisovics, l. c., Suppl. p. 208.

1902 *P. modestus* v. Mojsisovics, Über das Alter der Kalke mit *Asteroconites radiolaris* von Oberseeland. Verhandl. k. k. Geol. Reichsanst., p. 67.

Von dieser seltenen Spezies liegen mir zwei Exemplare von kleineren Dimensionen als die bisher bekannten vor, die sich von dem Arttypus aus dem obernorischen Hallstätter Kalk des Steinbergkogels nur durch ihre geringere Hochmündigkeit unterscheiden. Ihre Größenverhältnisse sind die folgenden

	I	II
Durchmesser	49 *mm*	40 *mm*
Höhe } der Schlußwindung	31	26
Dicke } der Schlußwindung	26	24
Nabelweite	0	0

Ich glaube dem Unterschied in den Querschnittsverhältnissen keine spezifische Bedeutung zugestehen zu sollen, da erfahrungsgemäß größere Exemplare stets relativ hochmündiger sind als solche von kleinen Dimensionen. In allen übrigen Merkmalen besteht zwischen unseren Stücken und *P. modestus* vollständige Übereinstimmung.

In dem kleineren der beiden Exemplare liegt der bisher unbekannt gebliebene Sipho an der Grenze des unteren und mittleren Drittels des Abstandes zwischen den beiden Externseiten am Beginn und Ende der noch durchaus gekammerten Schlußwindung. An dieser Kammerscheidewand konnte zugleich die Abwesenheit eines Internlobus mit voller Sicherheit konstatiert werden, wie dies aus der Abbildung ersichtlich ist.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna, 2, coll. Kittl (1909).

Gen. **Grypoceras** Hyatt.

Grypoceras obtusum v. Mojsisovics.

1873 *Nautilus obtusus* v. Mojsisovics, Cephalopoden der Hallstätter Kalke. Abhandl. k. k. Géol. Reichsanst., VI/1, p. 20, Taf. VII, Fig. 1.

1902 *Grypoceras obtusum* v. Mojsisovics, ibidem, Suppl., p. 229.

Diese bisher nur aus dem obernorischen Marmor des Roßmoos und Steinbergkogels bekannte Art hat sich auch in Kittl's Aufsammlungen in den gleichalterigen Hallstätter Kalken des Leisling gefunden.

Grypoceras cf. mesodicum v. Hauer.

Textfig. 5.

1846 *Nautilus mesodicus* v. Hauer, Cephalopoden des Salzkammergutes, p. 136, Taf. X, Fig. 4—6.

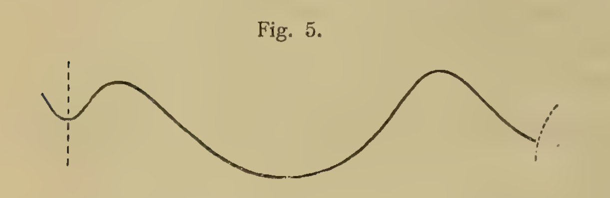
1847 *Nautilus mesodicus* v. Hauer, Neue Cephalopoden von Aussee, Haidinger's Naturwissenschaftl. Abhandl., 1, p. 261.

1873 *Nautilus mesodicus* v. Mojsisovics, Cephalopoden der Hallstätter Kalke. Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst., VI/1, p. 21, Taf. VIII, Fig. 1.

1902 *Grypoceras mesodicum* v. Mojsisovics, ibidem, Suppl., p. 229.

Das Hauptlager dieser schönen Art befindet sich nach den Mitteilungen von E. v. Mojsisovics in den obernorischen Hallstätter Kalken des Steinbergkogels. Außerdem war bis 1902 noch ein Exemplar aus dem stratigraphisch etwas tieferen (mittelnorischen) roten Marmor des Sommeraukogels bekannt. In der Sammlung Kittl's hat sich ein wohlerhaltenes Exemplar aus dem grauen Hallstätter Kalk des Leisling gefunden, das ebenfalls aus der obersten (sevatischen) Abteilung der Hallstätter Kalke stammen dürfte. Es steht an Größe hinter dem Originalstück F. v. Hauer's nur wenig zurück. In den Maßverhältnissen besteht eine weitgehende Übereinstimmung zwischen beiden Stücken, nur die Nabelweite ist bei dem Exemplar vom Leislung etwas geringer. Einem Durchmesser von 134 *mm* entspricht eine Höhe von 72, eine Dicke der Schlußwindung von 63 und eine Nabelweite von 13 *mm*.

Fig. 5.



Grypoceras cf. mesodicum Hau. Leisling, Norische Hallstätter Kalke, coll. Kittl.

In der Suturlinie stimmt Kittl's Exemplar mit dem Original F. von Hauer's vollständig überein. Da es sich um ein Wohnkammerexemplar handelt, konnte die Anwesenheit eines Internlobus nicht sichergestellt werden.

Die Identifizierung mit *Grypoceras mesodicum*, der mit Rücksicht auf den Unterschied in der Nabelweite — die Details der Nabelregion konnten nicht sichtbar gemacht werden — durch Einschiebung eines *cf.* eine gewisse Beschränkung auferlegt wird, stützt sich auf die weitgehende Ähnlichkeit mit dieser Spezies in der äußeren Gestalt und im Verlauf der Suturen, sowie auf die Erfahrung, daß *Clydonautili* ohne Internlobus — eine Zugehörigkeit zu *Proclydonautilus* könnte allerdings in Frage kommen — mit einem so weiten, offenen Nabel bisher in der alpinen Obertrias nicht bekannt geworden sind.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Leisling, im Walde lose gefunden, 1, coll. Kittl.

Das echte *Grypoceras mesodicum* Hau. ist auch in Kittl's Aufsammlungen aus den Zlambachschichten des oberen Stammbachgrabens vertreten.

Subgen. **Gryponautilus** Mojs.

Gryponautilus sp. ind. aff. Suessii v. Mojsisovics.

Taf. I, Fig. 7.

Die durch den kallösen Verschluß des Nabels von *Grypoceras* Hyatt unterschiedene Gruppe des *G. Suessii (Gryponautilus)* galt bisher als auf die karnische Stufe der Obertrias beschränkt. Sie geht jedoch, wie neuere Erfahrungen lehren, auch in die norische Stufe hinauf. Zum Beweise dessen wird hier eines Wohnkammerexemplars aus dem mittelnorischen roten Marmor des Sommeraukogels Erwähnung getan, das, soweit sein dürftiger Erhaltungszustand dies zu erkennen gestattet, in fast allen seinen Merkmalen dem bekannten *Gryponautilus Suessii* v. Mojsisovics (Cephalopoden der Hallstätter Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst. VI/1, 1873, p. 26, Taf. VI, Fig. 11, XIII, Fig. 2) außerordentlich nahesteht.

Das Stück besitzt dieselbe Größe wie der auf Taf. VI, Fig. 11 der obenerwähnten Monographie abgebildete gekammerte Kern, zeigt aber, da es bereits mit der Wohnkammer versehen ist, den Nabel verschlossen. Auch sind Knötchen entlang den Marginalkanten nur noch am Beginn der Schlußwindung entwickelt. Der Externteil ist zwischen den Marginalkanten nicht eingesenkt, sondern im Gegenteil ein wenig gewölbt. Dagegen tritt in den Flanken neben den Marginalkanten jene auffallende spirale Einbuchtung deutlich hervor, die dem Querschnitt des *G. Suessii* sein charakteristisches Aussehen verleiht.

Die Anwachsstreifen beschreiben auf den Flanken zwei flache Halbbögen, deren Konvexität nach vorwärts gerichtet ist und die in der Mitte der Seitenteile zusammentreffen. Sie sind direkt imbriziert und geben der Schalenoberfläche unter der Lupe das gleiche schuppige Aussehen wie bei *G. Suessii.* Den Externteil übersetzen die Anwachsstreifen in einem stark nach rückwärts gerichteten Halbbogen

Dimensionen.

Durchmesser	51 *mm*
Höhe der Schlußwindung	33
Dicke der Schlußwindung	33
Nabelweite	0

Lobenlinie und Sipho sind der Beobachtung nicht zugänglich.

Die unzureichende Erhaltung des einzigen vorliegenden Stückes rechtfertigt nicht die Einführung eines besonderen Speziesnamens. Immerhin ist unsere Spezies, die mit Rücksicht auf den Unterschied

in der Wölbung des Externteiles von *G. Suessii* getrennt gehalten werden muß, als ein Beweis für die Persistenz des Subgenus *Gryponautilus* in der norischen Stufe von Interesse.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Roter Marmor des Sommeraukogels (mittelnorisch) 1, coll. Heinrich (Nr. 592).

Gen. **Clydonautilus** Mojs.

Subgen. **Proclydonautilus** Mojs.

Proclydonautilus triadicus v. Mojsisovics.

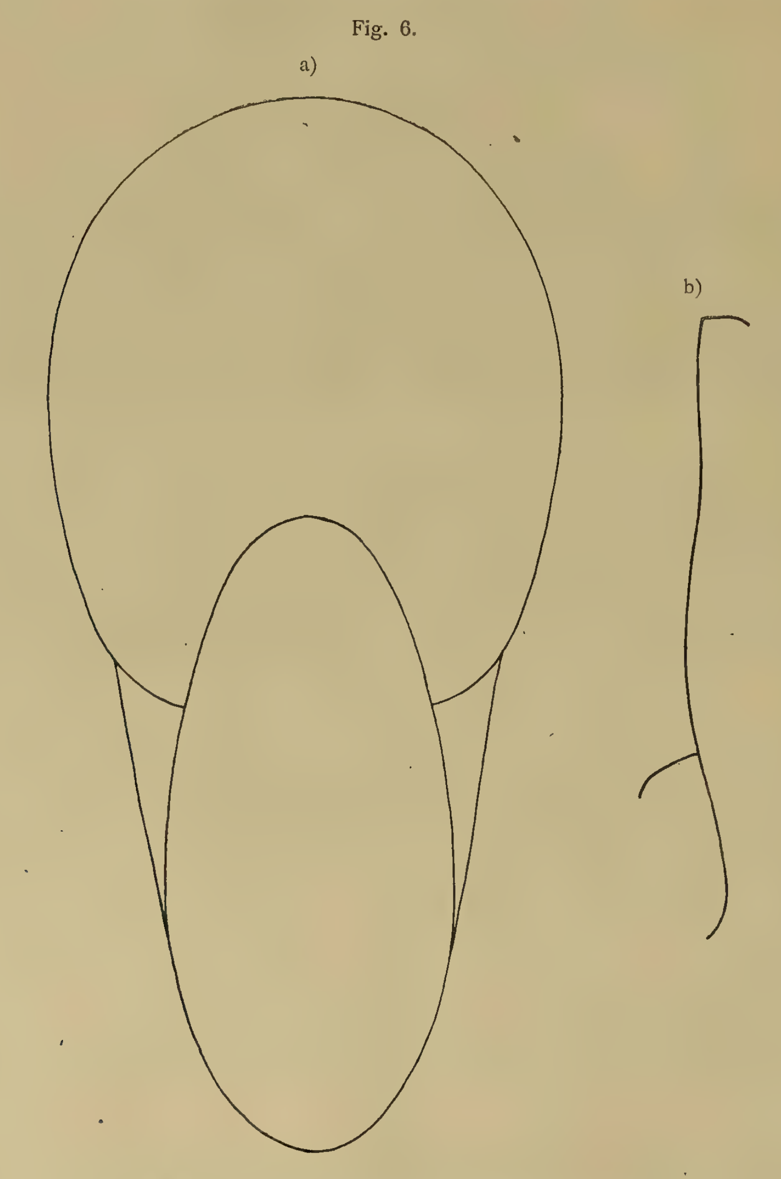
Textfig. 6, 7.

1873 *Nautilus triadicus* v. Mojsisovics, Cephalopoden der Hallstätter Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst., VI/1, p. 27, Taf. XIV, Fig. 1—4.

1902 *Proclydonautilus triadicus* v. Mojsisovics, ibidem, Suppl., p. 209.

1904 *Clydonautilus triadicus* Gemmellaro, I cefalopodi del Trias super. della regione occident. della Sicilia, p. 7, Tav. I, fig. 14, 15.

Fig. 6.



Proclydonautilus triadicus Mojs. *a)* Vorderansicht eines hochmündigen Riesenexemplars aus den Subbullatus-Schichten des Feuerkogels, coll. Heinrich. *b)* Mundrand desselben Exemplars.

1905 *Proclydonautilus triadicus* Hyatt et Smith, Triassic Cephalopod genera of America. U. S. Geol. Surv. Washington Profess. Pap. No. 40, p. 206, Pl. XLIX, fig. 1—3, L, fig. 1—17.

1908 *Proclydonautilus triadicus* Diener, Exotic blocks of Malla Johar. Palaeontol. Ind. ser. XV. Himal. Foss, Vol. I. Pt. I, p. 50, Pl. I, fig. 1.

1914 *Proclydonautilus triadicus* Welter, Die obertriadischen Ammoniten und Nautiliden von Timor. Palaeontol. von Timor, I. Lief., p. 207, Textfig. 78, 79.

In den Variationskreis des *Proclydonautilus triadicus* gehört auch ein mittelgroßer Clydonautilide aus der norisch-karnischen Mischfauna des Feuerkogels, gegen dessen Identifizierung mit dieser bekannten und weitverbreiteten Spezies aus der karnischen Stufe zunächst das abweichende Niveau des Fundortes Bedenken erregen möchte. Das Stück kann meines Erachtens von *Proclyd. triadicus* nicht getrennt werden. In seiner äußeren Erscheinung stimmt es am besten mit dem von E. v. Mojsisovics im ersten Bande seiner Monographie der Hallstätter Cephalopoden abgebildeten Originalexemplar des *Styrionautilus styriacus* (l. c., p. 27, Taf. XIV, Fig. 7) überein, das ja nur durch den Verlauf der Suturlinie von *Proclydonautilus triadicus* unterschieden ist. Seine Dimensionen sind die folgenden:

Durchmesser	55 *mm*
Höhe der Schlußwindung	38
Dicke der Schlußwindung	43
Nabelweite	0

Sehr nahe Übereinstimmung in der Gestalt des Gehäuses und im Querschnitt der Windungen besteht auch mit dem von Hyatt und Smith auf Pl. XLIX abgebildeten Exemplar aus den Halobien-Schichten des Hosselkuss limestone in Californien. Das von E. v. Mojsisovics auf Taf. XIV, Fig. 3 abgebildete Wohnkammerexemplar und das von mir illustrierte kleinere Stück aus den karnischen Klippenkalken des Himalaya sind ein wenig schlanker, da bei ihnen die Höhe der Breite des Querschnittes fast gleichkommt. Doch zeigen Welter's Exemplare aus der Obertrias von Timor eine noch viel größere Variabilität in bezug auf das Verhältnis der Höhe und Dicke des Windungsquerschnittes.

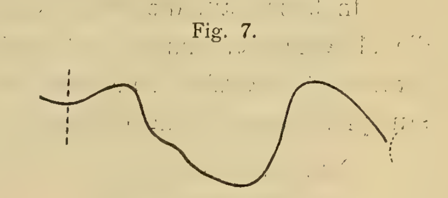
Die Suturlinie stimmt in ihrem Verlaufe mit jener der alpinen Exemplare aus dem karnischen Hallstätter Kalk vollständig überein.

In den *Subbullatus*-Schichten des Feuerkogels haben sich einige sehr große *Proclydonautili* aus der coll. Heinrich gefunden, die ich ebenfalls trotz ihrer auffallenden Hochmündigkeit mit *Proclyd. triadicus* vereinigen möchte. Das größte derselben weist die nachstehenden Dimensionen auf:

Durchmesser	153 *mm*
Höhe der Schlußwindung	94
Dicke der Schlußwindung	75
Nabelweite	0

An diesem Stück ist der Mundrand nahezu vollständig erhalten. Er springt, wie die Abbildung erkennen läßt, in der Nabelregion ein wenig zurück und verläuft dann in gerader Richtung gegen die Externseite. Auf dieser selbst konnte ich ihn nicht mehr beobachten. Er ist insbesondere in der Nabelregion wulstförmig verdickt und von einer dem Wulst vorausgehenden, schwachen Einsenkung der Schale begleitet. Dieselbe Form des Mundsaumes ist bekanntlich auch vielen Arcestiden eigentümlich, jedoch ziemlich verschieden von jener an dem rezenten *Nautilus Pompilius*.

Fig. 7.



Proclydonautilus triadicus Mojs.
Feuerkogel, *Subbullatus*-Schichten, coll. Kittl.

Es scheint mir kein Grund vorzuliegen, diese hochmündige Form als *Var. alta* von der normalen abzutrennen, da die Änderung in den Querschnittsverhältnissen nur auf dem Wachstum beruhen dürfte. Wenigstens zeigt das hier beschriebene Exemplar bei einem Durchmesser von 57 *mm*, ein zweites sogar noch bei einem solchen von 100 *mm* gleiche Höhe und Dicke. Auch die Unter-

schiede in der Evolution sind zu gering, um als Spezies- oder selbst nur als Varietätsmerkmale Beachtung zu verdienen. Bei einzelnen Stücken wachsen die Windungen ein wenig langsamer an als bei dem Typus der Art. Das ist z. B. auch der Fall bei dem von Gemmellaro mit dieser Spezies vereinigten Exemplar aus der sizilianischen Obertrias von Castronuovo.

An einem der vorliegenden Exemplare ist die untere Hälfte einer Kammerscheidewand in tadelloser Weise erhalten. Sie zeigt die vollständige Abwesenheit eines Internlobus, so daß die Zugehörigkeit unserer Stücke zu *Proclydonautilus* sichergestellt erscheint.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel. *Subbullatus*-Schichten, 3, coll. Heinrich, 1, coll. Kittl. (1908).

Proclydonautilus Griesbachi v. Mojsisovics.

Taf. II, Fig. 1, III, Fig. 4, Textfig. 8.

1896 *Clydonautilus (Proclydonautilus) Griesbachi* v. Mojsisovics, Obertriadische Cephalopodenfaunen des Himalaya, Denkschr. kais. Akad. d. Wissensch. Wien, math.-nat. Kl., LXIII, p. 674, Taf. XXII, Fig. 1.

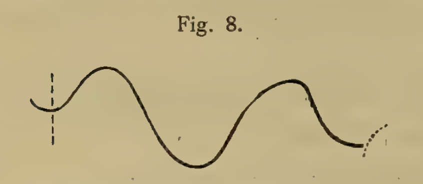
1899 *Clydonautilus (Proclydonautilus) Griesbachi* v. Mojsisovics, Upper Triassic Cephalopod faunae of the Himalaya, Palaeontol. Ind. ser. XV. Himal. Foss. Vol. III. Pt. 1, p. 123, Pl. XXII, fig. 1.

1914 *Proclydonautilus Griesbachi* Welter, Obertriadische Ammoniten und Nautiliden von Timor. Palaeontol. v. Timor, I. Liefg, p. 208, Taf. XXXII, Fig. 1.

Diese bezeichnende Spezies des himamalayischen Faunengebietes ist in den Sammlungen Heinrich's und Kittl's durch einige Stücke vertreten, die mit dem Arttypus aus den unternorischen Schichten des Bambanag-Profils im zentralen Himaiaya auf das genaueste übereinstimmen. Neben gekammerten Stücken liegen auch mehrere Exemplare vor, bei denen fast die Hälfte der Schlußwindung bereits der Wohnkammer angehört.

Die Wohnkammer zeigt eine, allerdings nur ganz geringfügige Veränderung in der Gestalt des Externteils gegenüber dem gekammerten Abschnitt der Schlußwindung, indem der bis dahin flache Externteil sich ein wenig aufwölbt und die ihn begrenzenden Marginalkanten sich abstumpfen. Das gerontische Stadium zeigt daher eine Neigung zur Rückkehr zur Schalenform auf den inneren Windungen, auf denen der Externteil noch nicht deutlich individualisiert ist. Doch ist diese Neigung nur sehr schwach ausgeprägt und selbst bei dem größten Exemplar mit einem Durchmesser von 135 *mm* ist der flach gewölbte Externteil gegen die Flanken noch sehr deutlich entlang den stumpf gerundeten Marginalkanten abgesetzt. Die Wölbung des Externteils ist nicht ganz gleichmäßig, vielmehr macht sich eine etwas stärkere Auftreibung entlang der Medianlinie bemerkbar.

Fig. 8.



Proclydonautilus Griesbachi Dien. Feuerkogel, coll. Kittl.

Der Nabel ist, wie man sich an dem Schalenexemplar überzeugen kann, nicht kallös verschlossen, sondern ein wenig geöffnet, wie das auch Welter an seinen Stücken aus der timoresischen Obertrias konstatiert hat.

In bezug auf die Ornamentierung der Schalenoberfläche kann ich Welter's Beschreibung durch die Mitteilung ergänzen, daß auch der Externteil von den zarten, dicht gedrängten Querstreifen übersetzt wird, die über denselben nach rückwärts gewendet verlaufen und an der Medianlinie in einem stumpfen, gegen vorne geöffneten Winkel zusammenstoßen.

Dimensionen.

Durchmesser	89 *mm*
Höhe der Schlußwindung über der Naht	57
Höhe der Schlußwindung über dem Externteil der vorhergehenden Windung	37
Dicke der Schlußwindung	50
Nabelweite	2

Sipho. An dem abgebildeten Exemplar liegt der Sipho ein wenig oberhalb der halben Windungshöhe. In der gleichen Position hat ihn Welter an einem seiner timoresischen Stücke gefunden.

Loben. Übereinstimmend mit jenen an dem Original des *Proclydonautilus Griesbachi*. Die Abwesenheit eines Internlobus konnte an mehreren Stücken mit voller Sicherheit festgestellt werden.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna 3, coll. Heinrich, 3, coll. Kittl (1908).

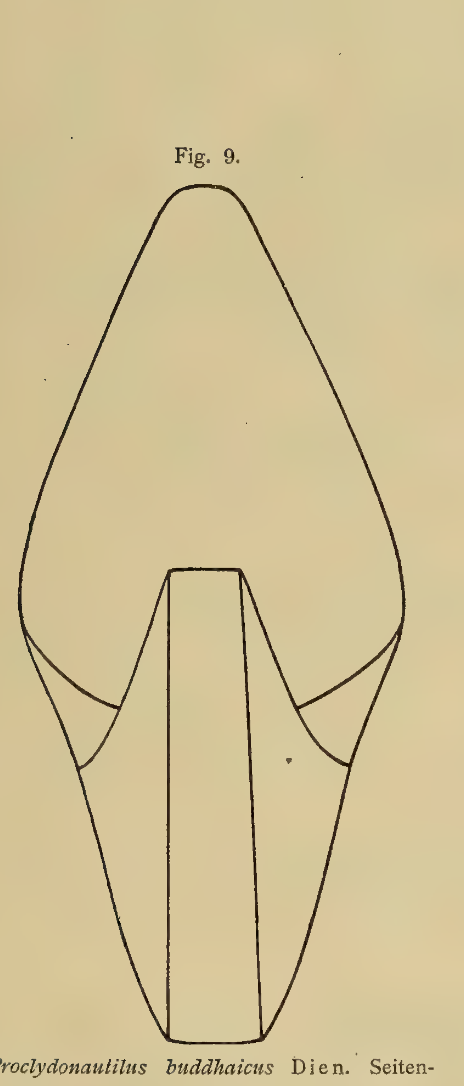
Proclydonautilus buddhaicus Diener.

Taf. II, Fig. 4, Textfig. 9, 10, 11.

1908. *Proclydonautilus buddhaicus* Diener, Upper triassic and liassic faunae of the exotic blocks of Malla Johar. Palaeontol. Ind. ser. XV. Himal. Foss. Vol. I. Pt. 1, p. 51, Pl. I, fig. 2, 3, 7.

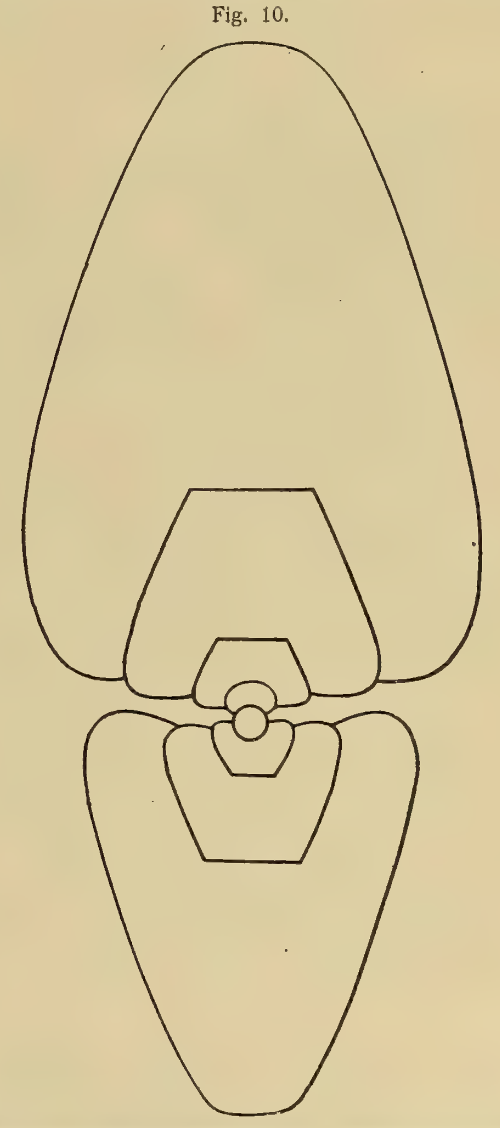
Von dem sehr nahe verwandten *Proclydonautilus Griesbachi* Mojs. unterscheidet sich *P. buddhaicus* bei gleichen Windungsquerschnitts- und Involutionsverhältnissen durch die Tendenz, den

Fig. 9.



Proclydonautilus buddhaicus Dien. Seitenansicht des auf Taf. II, Fig. 1 abgebildeten Exemplars.

Fig. 10.

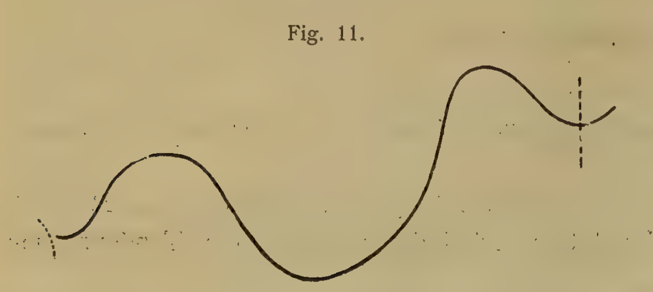


Proclydonautilus buddhaicus Dien., Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna, coll. Heinrich.

Externteil in vorgeschrittenen Wachstumsstadien vollständig abzuplatten, so daß derselbe ohne Intervention marginaler Kanten allmählich in die Flanken übergeht.

In der Sammlung des Herrn Dr. Heinrich befinden sich zwei Stücke, die diese Entwicklungstendenz in ebenso auffallender Weise erkennen lassen, wie mein Original aus den karnischen Klippenkalken des Blocks Nr. 1 im Balchdhuragebiet. An dem Querschnitt eines trotz seiner bedeutenden Größe (Durchmesser: 150 *mm*) noch durchaus gekammerten Exemplars lassen sich die Veränderungen in der Gestalt der Externseite von den innersten Umgängen bis zur Schlußwindung mit der wünschenswerten Deutlichkeit verfolgen.

Fig. 11.



Proclydonautilus buddhaicus Dien., Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna, coll. Heinrich.

Bis zu einem Durchmesser von 9 *mm* besitzt der innere Kern eine durchaus gerundete Kontur, ohne jede Differenzierung der Flanken und des Externteils. In den folgenden Wachstumsstadien bildet sich eine scharfe Marginalkante heraus, der entlang die nur sehr flach gewölbten Flanken an dem vollkommen ebenen Externteil abschneiden. Eine Änderung dieser Querschnittsverhältnisse tritt erst auf der Schlußwindung ein. Hier sind die Marginalkanten faßt verschwunden, der Externteil ist gewölbt und seine Trennung von den Seitenteilen ist unscharf geworden.

An einem zweiten Exemplar, das bereits die Wohnkammer enthält, ist der Externteil an der Mündung hochgerundet und fehlen Andeutungen der am Beginn der Schlußwindung noch kräftig entwickelten Marginalkanten.

In ihren Maßverhältnissen stimmen beide Stücke mit dem Originalexemplar aus dem Himalaya gut überein, nur sind sie ein wenig schlanker. Die Dimensionen des Wohnkammerexemplars sind die folgenden:

Durchmesser	132 *mm*
Höhe der Schlußwindung über der Naht	80
Höhe der Schlußwindung über dem Externteil des vorhergehenden Umganges	58
Dicke der Schlußwindung	60
Nabelweite (am Steinkern)	7

Die Skulptur der Schalenoberfläche stimmt mit jener bei *Proclydonautilus Griesbachi* Mojs. überein.

Sipho. Oberhalb der halben Höhe des Abstandes der Externseite am Beginn und Ende der Schlußwindung.

Loben. Übereinstimmend mit jenen des Originalstückes von *P. buddhaicus*. Die Abwesenheit eines Internlobus konnte festgestellt werden.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna 2 coll. Heinrich.

Bemerkungen über die Beziehungen von *Proclydonautilus buddhaicus* zu *Cosmonautilus Dilleri* Hyatt et Smith. Aus der der oberkarnischen Zone des *Tropites subbullatus* entsprechenden Abteilung des Hosselkuss limestone in Californien haben Hyatt und Smith (Triassic Cephalopod genera of America. U. S. Geol. Surv. Washington 1905, Profess. Pap. No. 40, p. 207, Pl. LI. fig. 1, LII. fig. 1, LIII. fig. 1, 2, LIV. fig. 1—4, LV. fig. 1—11) *Cosmonautilus Dilleri* beschrieben, eine Form, die dem *Proclydonautilus buddhaicus* außerordentlich nahesteht.

Grössere Individuen beider Arten lassen sich wohl kaum trennen, wofern man nicht den engeren Nabel und die in etwas früheren Wachstumsstadien eintretende Abrundung der Externkante bei *Cosmonautilus Dilleri* als ein Unterscheidungsmerkmal gelten lassen will. Der einzige wirkliche Unterschied liegt darin, daß die amerikanische Spezies in ihrer Entwicklung ein an *Metacoceras* Hyat erinnerndes Jugendstadium durchläuft, indem an inneren Windungen von 13—40 *mm* Durchmesse schwache Marginalknoten sich einstellen.

Daß in bezug auf das Altersstadium, in dem die Marginalknoten sich verlieren und der Externteil sich abrundet, bei *Cosmonautilus Dilleri* — ebenso wie bei *Proclydonautilus buddhaicus* — eine sehr weitgehende Variabilität besteht, konnte O. Welter (Die obertriadischen Ammoniten und Nautiliden von Timor, l. c. p. 218, Taf. XXXIII, Fig. 1—3, Textfig. 93—98) an seinem reichen Material der ersteren Art aus der Obertrias von Timor beweisen. Bei dem in Textfig. 93 abgebildeten Stück ist der Externteil schon bei einem Durchmesser von 56 *mm* gerundet, bei einem zweiten (Textfig. 94) persistieren die scharfen und sogar kielartig aufgetriebenen Marginalkanten noch bei einem Durchmesser von 189 *mm*, während bei Hyatt's kalifornischen Typen die Marginalkanten in der Regel bei einem Durchmesser von 70 *mm* undeutlich werden.

Es bleibt somit, wenn man zwischen der Zugehörigkeit eines Stückes zu *Proclydonautilus buddhaicus* und *Cosmonautilus Dilleri* die Entscheidung zu treffen hat, nur die Präparation der innere Kerne als Ausweg übrig. An *Proclydonautilus buddhaicus* habe ich Marginalknoten im Jugendstadium niemals beobachtet, halte demnach eine Vereinigung dieser Art mit *Cosmonautilus* nicht für statthaft. Die gleiche Bemerkung gilt auch für *Clydonautilus biangularis* v. Mojsisovics, den Hyatt und Smith ebenfalls zu ihrem Genus *Cosmonautilus* gestellt haben. Die auf Grund der Angaben dieser beiden Autoren erfolgte Einreihung der letzteren Art bei *Cosmonautilus* im Katalog der „Cephalopoda triadica“ (Junk, Berlin, 1915, p. 328) möchte ich daher hier berichtigen.

Im übrigen sind die Unterschiede zwischen *Proclydonautilus* Mojs. und *Cosmonautilus* Hyatt et Smith so geringfügige — die Entwicklung der Marginalknoten im Jugendstadium hält sich bei *Cosmonautilus* in sehr bescheidenen Grenzen — daß man der letzteren Gattung höchstens einen subgenerischen Rang zugestehen könnte.

Unter den nur durch den Besitz eines Internlobus von *Proclydonautilus* unterschiedenen Gryponautilen besitzt *Cosmonautilus Dilleri* zwei auffallende Parallelformen in *Gryponautilus Suessii* v. Mojsisovics (Cephal. d. Hallst. Kalke, l. c. 1873, p. 26, Taf. VI, Fig. 11, XIII., Fig. 2) und in *G. Suessiforme* Diener (Palaeontol. Ind. ser. XV. Vol. I. Pt. 1., Exotic blocks of Malla Johar, 1908 p. 54, Pl. X., fig. 1). Auch diese beiden Nautiloidea machen in den mittleren Alterszuständen ein *Metacoceras*-Stadium durch, insbesondere die indische Spezies, die nach Welter (l. c. p. 225, Taf. XXXIV, Fig. 4, 5) wahrscheinlich auch in der Obertrias von Timor sich wiederfindet und sehr deutliche, wenn auch zarte Marginalknoten besitzt. Da bei keiner dieser beiden Arten ein Internlobus bisher zur Beobachtung gelangt ist — auch Dr. Heinrich konnte an dem ihm zur Verfügung stehenden Material von *Gryponautilus Suessii* die An- oder Abwesenheit eines Internlobus nicht feststellen — so beruht deren Zuweisung zu *Grypoceras*, beziehungsweise *Gryponautilus*, vorläufig nur auf dem einfacheren Verlauf der Suturlinie, einem Merkmale, das keineswegs eine sichere Bestimmung gewährleistet, da auch unter den Clydonautilen Typen mit ebenso einfach gebauten Suturen (*Indonautilus* Mojs.) vorkommen.

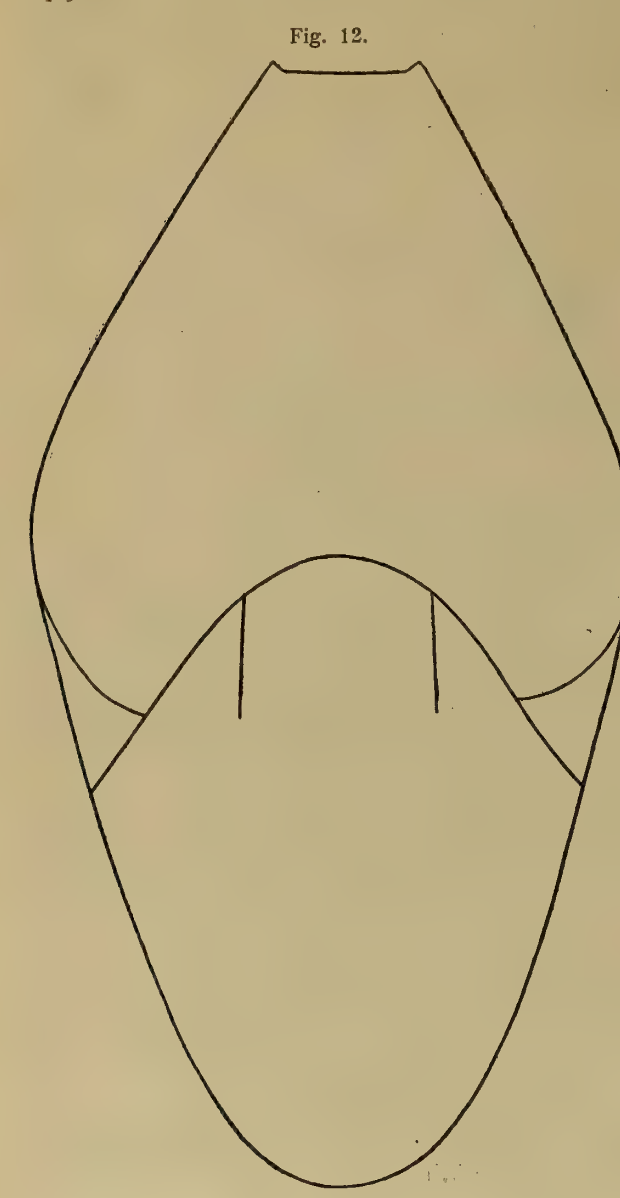
Proclydonautilus Tuvalicus nov. sp.

Taf. III, Fig. 1, Textfig. 12, 13.

Diese neue Art, der ein Wohnkammerexemplar von beträchtlicher Größe zugrunde liegt, ist durch eine rasche Zunahme des Höhenwachstums im altersreifen Zustande, durch den mehrmaligen Wechsel in der Gestalt des Externteiles und durch einen sehr engen, kallös verschlossenen Nabel ausgezeichnet.

Am Beginn der Schlußwindung erinnert unsere Art im Querschnitt an *Proclydonautilus gasteroptychus* v. Dittmar. Die Dicke des Umganges übertrifft bei weitem dessen Höhe (55 : 40 *mm*). Der Externteil ist nicht hinreichend stark gewölbt, um mit kontinuierlicher Rundung in die Flanken überzugehen. Vielmehr wird die Grenze zwischen beiden durch eine stumpfe Kante gebildet. Bei weiter fortschreitendem Wachstum verwischt sich diese Kante und gegen das Ende der ersten Hälfte der Schlußwindung zu verbindet sich der steil gerundete Externteil in ununterbrochener Rundung mit den Seitenteilen. Dabei ist die Dicke des Querschnittes noch immer eine sehr beträchtliche (80 : 60 *mm*), In der vorderen Hälfte der Schlußwindung verändert sich neuerdings die Gestalt des Externteils und mit dieser der ganze Querschnitt der Windung. Der Externteil plattet sich immer mehr ab und es entsteht eine scharfe Kante am Rande gegen die Seitenwand. Ja, in der Nähe der Mündung, die sich nicht mehr allzuweit hinter dem eigentlichen Peristom der vollständig erhaltenen Schale befunden haben dürfte, läßt sich sogar eine kielartige Auftreibung der Marginalkanten zu beiden Seiten des ein wenig eingesenkten Externteils feststellen. Zugleich nimmt die Schlußwindung in diesem Abschnitt an Höhe außerordentlich zu, so daß die letztere an der Mündung unseres Stückes der Dicke des Querschnittes nahezu gleichkommt

Fig. 12.



Proclydonautilus tuvalicus nov. sp. Seitenansicht des auf Taf. III, Fig. 1, abgebildeten Exemplars.

Die Nabelwand fällt ohne Intervention einer Kante von den Flanken in allmählich zunehmender Steilheit gegen den engen Nabel ab, der dort, wo die Schale erhalten ist, durch einen Kallus verschlossen erscheint.

Die feinere Skulptur der Schale ist nur an wenigen Stellen erhalten. Sie besteht aus sehr zarten Anwachsstreifen, die in der Marginalzone — der einzigen Region, wo sie genauer beobachtet werden konnten — gegen rückwärts gekrümmt sind.

Dimensionen.

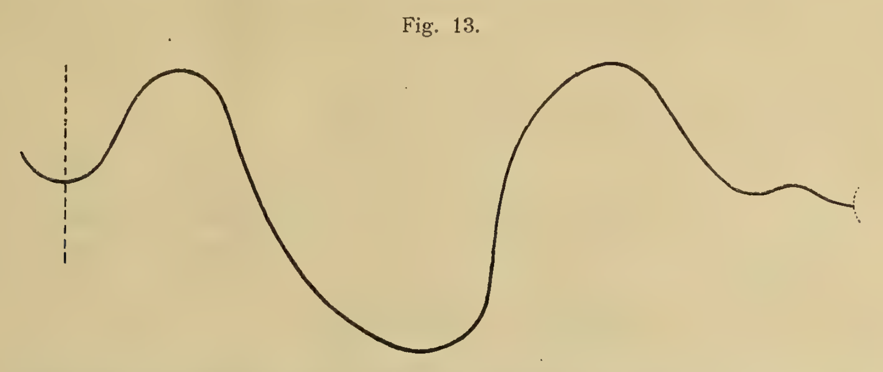
Durchmesser	168 *mm*
Höhe der Schlußwindung über der Naht	108
Höhe der Schlußwindung über dem vorhergehenden Umgang	80
Dicke der Schlußwindung	107
Nabelweite	0

Sipho. Die Lage des Sipho ist nicht bekannt.

Loben. Ein auffallendes Merkmal in der sonst mit der Normalsutur von *Proclydonautilus* übereinstimmenden Lobenlinie ist die Entwicklung eines wohl ausgebildeten Umbilikallobus zwischem dem Lateralsattel und der Naht. Dieser Umbillikallobus erfährt noch eine weitere Unterteilung durch eine wenig bedeutende Aufwölbung der Sutur, die jedoch zu geringfügig ist, um eine Bewertung als ein besonderes Suturelement zu verdienen.

Die An- oder Abwesenheit eines Internlobus konnte an dem einzigen mir vorliegenden Exemplar nicht konstatiert werden. Die Zuweisung dieser Spezies zu *Proclydonautilus,* nicht zu *Grypoceras,* erfolgte lediglich auf Grund der nahen Beziehungen zu *P. Griesbachi, P. buddhaicus* und *P. Ernesti.*

Fig. 13.



Proclydonautilus tuvalicus Dien. Feuerkogel, Subbullatus-Schichten, coll. Heinrich.

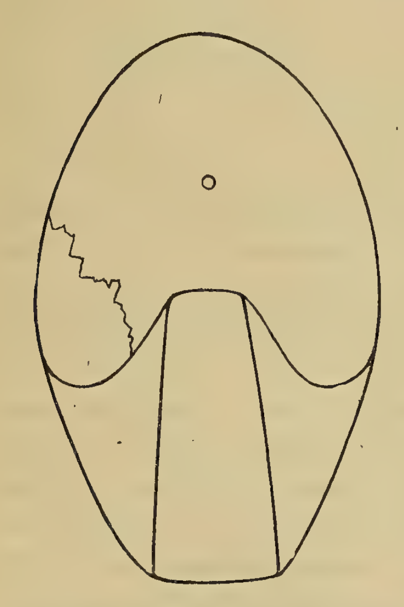
Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel. Linse mit *Tropites subbullatus* 1, coll. Heinrich.

Proclydonautilus Ernesti nov. sp.

Taf. II, Fig. 2, Textfig. 14, 15.

Die vorliegende neue Art schließt sich in ihren allgemeinen Merkmalen, ihrer Oberflächenskulptur und dem Bau der Suturlinie nahe an *Proclydonautilus spirolobus* v. Dittmar (Zur Fauna d. Hallst. Kalke, Geognost. Palaeontol. Beiträge von Benecke etc. I. 1866, p. 352, Taf. XIII, Fig. 1, 2) an. Bei einem Vergleich mit den vorzüglichen Beschreibungen und Abbildungen, die in neuerer Zeit E. v. Mojsisovics (Cephal. d. Hallst. Kalke, l. c. VI/1., Suppl. 1902, p. 211, Taf. X, Fig. 3, XI., Fig. 1) und Welter (Obertriadische Ammoniten und Nautiliden von Timor, Palaeontol. von Timor, I. Liefg. 1914, p. 209, Taf. XXXII, Fig. 2, 3, Textfig. 81) von *Proclydonautilus spirolobus* gegeben haben, fallen die folgenden Unterschiede ins Auge.

Fig. 14.



Proclydonautilus Ernesti nov. sp., Seitenansicht des auf Taf. II, Fig. 2, abgebildeten Exemplars.

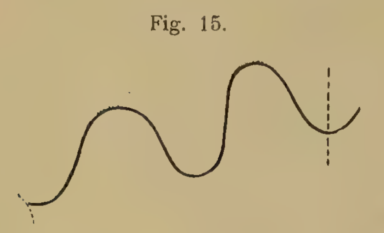
Unsere neue Art ist erheblich schlanker, indem bei einem Durchmesser von zirka 80 *mm* die Windungshöhe der Dicke ungefähr gleichkommt. Ähnliche Querschnittsverhältnisse kommen bei den alpinen und timoresischen Exemplaren des *P. spirolobus* nicht vor, obwohl auch bei diesen eine gewisse Variationsbreite in den Querschnittsverhältnissen besteht. Die Externseite ist in der Jugend abgeplattet und trennt sich auch durch stumpf gerundete Kanten von den Flanken ab. Erst am Ende der Schlußwindung geht der gerundete Externtheil in die Flanken, wie bei *P. spirolobus,* allmählich ohne Intervention einer Marginalkante über. Die Schalenskulptur ist minder deutlich ausgeprägt als bei der Art v. Dittmar's. Die Querstreifen nehmen vom Nabel gegen außen an Breite zu, dagegen an Stärke ab und weisen in der Mitte der Seitenteile eine flach wellenförmige Einbuchtung auf. Da die Schale nur auf einem kleinen Teil des einzigen, mir vorliegenden Exemplars unverletzt ist, so kann der Verlauf der Querstreifen über die Externseite nicht mit der wünschenswerten Genauigkeit verfolgt werden.

Dimensionen.

Durchmesser	83
Höhe } der Schlußwindung	54
Dicke } der Schlußwindung	53
Nabelweite	0

Sipho. Ein wenig oberhalb der halben Windungshöhe.

Fig. 15.



Proclydonautilus Ernesti Dien., Feuerkogel, Subbullatus-Schichten, coll. Kittl.

Loben. Im wesentlichen übereinstimmend mit jenen des *P. spirolobus.* Externlobus breiter und seichter, Lateralsattel den Laterallobus an Größe übertreffend. Der letztere steht höher als der Nahtlobus. Die Abwesenheit eines Internlobus konnte mit Sicherheit festgestellt werden.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel, Subbullatus-Schichten 1, coll. Kittl (1908).

Bemerkungen über verwandte Arten. In den vorangehenden Beschreibungen ist *Proclydonautilus Ernesti* in erster Linie mit *P. spirolobus* Dittm. verglichen worden, wesentlich mit Rücksicht auf die Oberflächenskulptur der Schale, die bei unserer Art ein wenig stärker ausgebildet erscheint, als es sonst zumeist bei den Clydonautiliden der Fall ist. Mit Rücksicht auf die Querschnittsverhältnisse könnte man indessen wohl an noch nähere Beziehungen zwischen *P. Ernesti* und *P. tuvalicus* denken, ja es ließe sich sogar die Frage aufwerfen, ob unser Stück nicht als Fragment eines *P. tuvalicus* gedeutet werden könnte. Gegen eine solche Auffassung sprechen jedoch die folgenden Tatsachen: Der Externteil des *P. Ernesti* ist am Beginn der Schlußwindung abgeflacht, nicht hoch gewölbt wie bei *P. tuvalicus.* Bei gleichem Durchmesser ist der Querschnitt bei *P. tuvalicus* viel breiter (60:80 gegen 54:53). Die Anwachsstreifen sind bei *P. Ernesti* viel kräftiger entwickelt.

An der spezifischen Selbständigkeit beider Arten kann daher trotz einer weitgehenden Ähnlichkeit in der äußeren Erscheinung wohl kaum ein Zweifel bestehen.

Proclydonautilus Ermollii nov. sp.

Taf. II, Fig. 3, Textfig. 16, 17, 18.

In ihrer äußeren Erscheinung erinnert die vorliegende Art eher an einen der beiden typischen Vertreter des Genus *Gonionautilus* Mojs., *G. securis* Dittm. und *G. Salisburgensis* Hau. als an eine der bisher beschriebenen Spezies des Subgenus *Proclydonautilus.* Indessen läßt die einfachere Suturlinie und der Mangel eines deutlich individualisierten Internlobus eine Vereinigung mit *Gonionautilus* nicht zu.

Das größere, der Abbildung zugrunde gelegte Exemplar ist bereits mit dem größten Teil seiner Wohnkammer versehen, die ungefähr zwei Drittel des letzten Umganges einnimmt. Es besitzt rasch anwachsende, auffallend hochmündige Windungen und einen sehr schmalen, von scharfen Kanten begrenzten Externteil, den es auch im Bereich seiner Wohnkammer beibehält. Die Externseite ist eben, nicht hohlkehlenartig vertieft, und auch nicht von kielartig erhabenen Rändern eingefaßt. Die Umgänge umhüllen einander vollkommen, doch scheint ein offener, wenn auch sehr enger Nabel vorhanden gewesen zu sein. Der größte Abstand der nahezu flachen, gegen den Externteil gleichmäßig konvergierenden Flanken fällt mit dem abgerundeten Nabelrand zusammen. Von diesem fällt die Schale steil zur Naht ab.

Die Oberfläche der Schale, die allerdings an keiner Stelle tadellos erhalten ist, scheint vollkommen glatt gewesen zu sein. Jedenfalls fehlt eine deutliche Faltenbildung, wie bei *Gonionautilus Salisburgensis* v. Hauer. Im übrigen würde der Mangel einer solchen Oberflächenskulptur nicht gegen die Zugehörigkeit zu *Gonionautilus* sprechen, da auch der Typus der letzteren Gattung, *Gonionautilus securis* Dittm., eine im wesentlichen glatte Schale besitzt.

Dimensionen.

Durchmesser	133 *mm*
Höhe der Schlußwindung	84
Dicke der Schlußwindung	45
Nabelweite	?

Sipho. Der Sipho befindet sich in halber Windungshöhe.

Loben. Unter den bogenförmig gebuchteten Loben ist der Laterallobus der breiteste und tiefste Er ist nicht streng symmetrisch gebaut, sein tiefster Punkt ist vielmehr an den Rand der steil zum Lateralsattel ansteigenden Innenwand gerückt. Lateralsattel wohlindividualisiert, noch außerhalb des Nabelrandes stehend und von gleicher Höhe mit dem Externsattel. Externlobus seicht, ohne Medianhöcker.

Um die eventuelle Anwesenheit eines Internlobus festzustellen, wurde der gekammerte Teil des kleineren der beiden mir vorliegenden Exemplare bis zur Medianebene abgeschliffen. Die Zeichnung des Medianschnittes, aus der auch die zentrale Position des Sipho ersichtlich ist, läßt die bis in die Medianebene reichende Biegung im Bereich des Externsattels erkennen, zeigt hingegen keine Andeutung des Lateralsattels mehr. Ein wohlindividualisierter Internsattel fehlt. Von den vier Septen, die sich in unserem Schliff quer über die durchschnittene Windung verfolgen lassen, laufen die beiden hinteren in fast gerader Linie gegen den Innenrand aus.

Bei den beiden vorderen ist eine ganz leichte, nach rückwärts gerichtete Einstülpung angedeutet. Wollte man diese als Beweis für das Auftreten eines Internsattels gelten lassen, so müßte man doch zugeben, daß ein solcher Sattel von winzigen Dimensionen gewesen und ein sehr spät erworbenes Merkmal unserer Spezies gewesen sei. Mit dem wohlausgebildeten Internsattel einiger typischer Arten der Gattung *Grypoceras* Hyatt oder gar mit dem zweigeteilten Internsattel des *Gonionautilus securis* könnte er keinen Augenblick verglichen werden.

Da die Veränderung des Septaldurchschnittes während der Herstellung des Schliffes stets beobachtet wurde, erscheint die Anwesenheit eines dem Internlobus der letzteren Spezies vergleichbaren Suturelements ausgeschlossen.

Fig. 16.

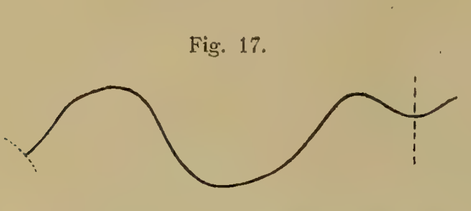
Proclydonautilus Ermollii Dien. Vorderansicht des auf Taf. II, Fig. 3 abgebildeten Exemplars.

Die Abwesenheit eines eigentlichen Internlobus und der einfache Bau der externen Lobenelemente lassen eine Vereinigung unserer neuen Art mit dem Genus *Gonionautilus* Mojs. nicht zu. Diese Art schließt sich vielmehr an *Proclydonautilus* Mojs. an, stellt jedoch innerhalb dieses Subgenus einen besonderen, durch die Hochmündigkeit der Schlußwindung und die Schmalheit des Externteiles auffallenden Typus dar. In beiden Merkmalen erinnert sie an *Proclydonautilus discoidalis* Welter. (Die obertriadischen Ammoniten und Nautiliden von Timor. Palaeontol. von Timor, I. Liefg. 1914, p. 206, Taf. XXI, Fig. 7—9), von dem sie sich jedoch

durch den Bau der Suturlinie unterscheidet. Der letztere würde die Zuweisung der timoresischen Spezies zu *Proclydonautilus* wohl überhaupt nicht gestatten, vielmehr eine solche zu *Styrionautilus* bedingen, wie das von Welter selbst angedeutet worden ist.

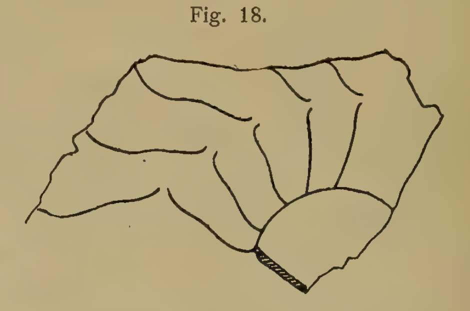
E. v. Mojsisovics hat in seiner Gattung *Clydonautilus* (mit Einschluß des Subgenus *Proclydonautilus*) Arten von sehr verschiedener Gestalt vereinigt. Der Gattungstypus *Styrionautilus styriacus*

Fig. 17.



Proclydonautilus Ermollii Dien., Feuerkogel, *Subbullatus*-Schichten, coll. Kittl.

Fig. 18.



Proclydonautilus Ermollii, Dien., Längsschliff, Feuerkogel, *Subbullatus*-Schichten, coll. Kittl.

Mojs., kann als Parallelform zu den gedrungenen, globosen Clydonautilen wie *Proclydonautilus triadicus* Mojs. oder *P. Goniatites* Hau. gelten. Dagegen würde *Styrionautilus discöidalis* eine Parallelform zu dem hier beschriebenen *Proclydonautilus Ermollii* darstellen, mit dem er die Hochmündigkeit, den Besitz abgeflachter Flanken und einer schmalen biangularen Externseite teilt.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel, *Subbullatus*- Schichten, 2, coll. Kittl (1909).

Fam. Syringonautilidae Mojs.

Gen. Juvavionautilus Mojs.

Juvavionautilus Geyeri nov. sp.

Taf. III, Fig. 6, Textfig. 19.

Unter dem Namen *Juvavionautilus* hat E. v. Mojsisovics (Cephalopoden d. Hallstätter Kalke, l. c. Supplement 1902, p. 22) drei Arten der *Syringonautilidae* zusammengefaßt, die sich um *Nautilus heterophyllus* v. Hauer gruppieren und von *Syringoceras* Hyatt, beziehungsweise *Syringonautilus* Mojs. sich durch einen wohl entwickelten Nabelrand und die Ausbildung einer individualisierten Marginalregion zwischen Seitenteilen und Externteil unterscheiden.

Dieser leicht kenntlichen Gattung kann eine neue Spezies aus der von Dr. Heinrich entdeckten Mischfauna karnischer und norischer Elemente am Feuerkogel mit Sicherheit zugerechnet werden. Ein nahezu vollständiges, mit dem größten Teil seiner Wohnkammer versehenes Individuum und zwei erheblich kleinere Exemplare liegen mir vor, von denen das eine bei einem Durchmesser von 20 *mm* bereits den Beginn der Wohnkammer zeigt.

Bei einem Durchmesser von 53 *mm* besitzt das größte, hier zur Abbildung gebrachte Exemplar zweiundeinviertel Umgänge. Der Nabel ist durchbrochen, das Nabelloch verhältnismäßig eng.

Die langsam anwachsenden Umgänge sind von annähernd gleicher Breite und Höhe. Ihr größter Abstand fällt mit der wohl individualisierten, scharfen Nabelkante zusammen, von der die hohe Nabelwand steil zur Naht abfällt. Die einzelnen Umgänge umfassen einander bis zu einem Drittel der Windungshöhe.

Von den drei bisher beschriebenen Arten des Genus *Juvavionautilus* ist die vorliegende durch ihren abweichenden, gedrungenen Querschnitt leicht zu unterscheiden. Die flach gewölbten Seitenteile

grenzen mit stumpfen Marginalkanten an den gleichfalls sehr flach gewölbten Externteil. Nur *Juvavionautilus subtrapezoidalis* v. Mojsisovics (l. c. p. 225, Taf. III, Fig. 2) weist einen einigermaßen ähnlichen Querschnitt auf, doch konvergieren bei ihm die Flanken viel stärker gegen die Marginalregion als bei unserer neuen Art. Auch steht bei ihm die Breite der Höhe des Querschnittes erheblich nach.

Die Individualisierung der Nabelkante stellt sich bei einem Durchmesser von 20—25 *mm*, jene des Marginalrandes erst bei einem solchen von 40 *mm* ein.

Die Skulptur stimmt mit jener bei *Juvavionautilus heterophyllus* Hauer (Neue Cephalopoden von Hallstatt und Aussee, Haidinger's Naturwiss. Abhandl. III. 1849, p. 3, Taf. I, Fig. 6—8) überein, ist jedoch auf den inneren Umgängen und auf der Schlußwindung von gleicher Stärke. Die zarten, dichtgedrängten, den Charakter von Zuwachsstreifen tragenden Querlinien zeigen einen leicht geschwungenen Verlauf, indem sie in der Umgebung der Naht und in der Marginalregion ein wenig stärker nach rückwärts gerichtet sind. Zum Verlauf des Laterallobus zeigen sie keinerlei Beziehungen.

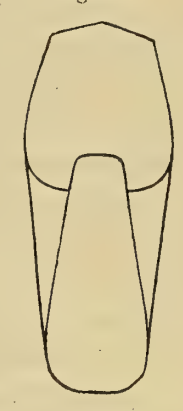
Dimensionen.

Durchmesser	53 *mm*
Höhe der Schlußwindung	23
Dicke der Schlußwindung	23·5
Nabelweite	15
Perforation	1·5

Sipho. Der Sipho liegt, wie ich mich an einem der beiden kleineren Exemplare überzeugen konnte, fast zentral oder nur ganz wenig über der halben Windungshöhe. Seine Lage bei *Juvavionautilus subtrapezoidalis* ist nicht bekannt. Bei den beiden übrigen Arten des Genus liegt er ein wenig unterhalb der Mitte der Kammerhöhe.

Loben. Der breite, die Flanken einnehmende Laterallobus steigt in der Marginalregion zu dem flachen, den Externteil überspannenden, ungeteilten Externsattel, an der Nabelkante zu einem über die Nabelwand schräge zur Naht herabziehenden Umbilikalsattel an. Ein Internsattel konnte an jenem der beiden kleineren Exemplare beobachtet werden, dessen Kammerwand die Feststellung der Position des Sipho gestattete.

Fig. 19.



Juvavionautilus Geyeri, Dien.
Seitenansicht des auf Taf. III, Fig. 6 abgebildeten Exemplars.

Vorkommen. Zahl der untersuchten Exemplare. Feuerkogel Norisch-karnische Mischfauna 3, coll. Heinrich.

Da das Genus *Juvavionautilus* bisher nur aus mittel- und obernorischen Hallstätter Kalken (Sommeraukogel, Steinbergkogel, Rossmoos) bekannt geworden ist, darf die neue Spezies wohl den norischen Elementen in der erwähnten Mischfauna beigezählt werden.

Bemerkungen über die Beziehungen zwischen *Juvavionautilus, Syringonautilus* und *Oxynautilus.* E. v. Mojsisovics hat *Juvavionautilus* zum Rang einer besonderen Gattung innerhalb der *Syringonautilidae* erhoben, obwohl die Unterschiede von *Syringonautilus* so geringfügig sind, daß sie überhaupt erst im Reifestadium zur Geltung kommen. Dagegen betrachtet er *Oxynautilus* nur als eine Untergattung des Genus *Juvavionautilus,* obgleich der Typus des letzteren, *J. heterophyllus,* in seinen äußeren Merkmalen von *Oxynautilus acutus* Hau. erheblich stärker abweicht als von den typischen *Syringonautili,* mit denen er übrigens durch eine Zwischenform *(Syringonautilus longobardicus* Mojs.) enge verbunden erscheint. Den tatsächlichen Verhältnissen dürfte eine systematische Gleichstellung von *Juvavionautilus, Oxynautilus* und *Syringonautilus* besser entsprechen, wie ich sie in meinem Katalog der triadischen Cephalopoden (Junk, 1915) befürwortet habe.

Gen. **Clymenonautilus** Hyatt.

Clymenonautilus Ehrlichi v. Mojsisovics.

1873 *Nautilus Ehrlichi* v. Mojsisovics, Cephalopoden d. Hallst. Kalke, Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst. VI/1, p. 15, Taf. VI, Fig. 9.

1902 *Clymenonautilus Ehrlichi* v. Mojsisovics, ibidem, Supplem. p. 222.

Von dieser bisher nur aus dem Gastropodenmarmor des Vordersandling bekannten Art hat sich ein kleines Exemplar auch in den norischen Hallstätter Kalken des Siriuskogels (coll. Kittl) gefunden.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit sind sechs neue Nautiloideenarten beschrieben worden, von denen eine zu *Juvavionautilus*, zwei zu *Pleuronautilus*, drei zu *Proclydonautilus* gehören. Es sind die folgenden:

Juvavionautilus Geyeri,
Pleuronautilus lepsiusiformis,
» *Ausseanus,*
Proclydonautilus tuvalicus,
» *Ernesti,*
» *Ermollii.*

Unter den Vertretern des letzteren Subgenus repräsentiert *Proclydonautilus Ermollii* einen besonderen, durch die Hochmündigkeit der Schlußwindung und die Schmalheit des Externteiles gekennzeichneten Typus.

Neu für die Hallstätter Kalke des Salzkammergutes, beziehungsweise für das Mediterrane Reich sind ferner die beiden bisher nur aus der himamalayischen Region bekannten Spezies *Proclydonautilus Griesbachi* und *Proclydonautilus buddhaicus.*

Bemerkenswert ist die Feststellung der großen vertikalen Verbreitung von *Orthoceras Mojsisovicsi* Sal. Diese, bisher nur aus der ladinischen und karnischen Stufe der alpinen Trias bekannte Art konnte auch in der *Trinodosus*-Zone der Schiechlighöhe nachgewiesen werden. Aus der gleichen Zone stammt ferner eine durch ihren trapezförmigen Querschnitt ausgezeichnete und von allen bisher beschriebenen Arten abweichende Spezies des Genus *Mojsvaroceras,* deren ungenügender Erhaltungszustand die Einführung eines besonderen Speziesnamens nicht gestattete.

Bei *Germanonautilus Breunneri* Hau. wurde die Abwesenheit eines Internlobus festgestellt, eine Tatsache, die für die Diagnose der Gattung und für die Bewertung des Internlobus bei triadischen Nautiloideen nicht ohne Bedeutung ist.

Besonderes Interesse kommt der karnisch-norischen Mischfauna vom Feuerkogel zu, über die A. Heinrich im Jahre 1909 zuerst berichtet hat. Es gehören derselben die folgenden sieben Arten an:

Pleuronautilus (Enoploceras) cf. Lepsiusii Mojs. (sonst norisch).
» » *lepsiusiformis nov. sp.*
» » *Ausseanus nov. sp.*
Paranautilus modestus Mojs. (sonst norisch).
Proclydonautilus Griesbachi Dien. (sonst norisch).
» *buddhaicus* Dien. (sonst karnisch).
Juvavionautilus Geyeri nov. sp. (das Genus *Juvavionautilus* sonst norisch).

Tafel I.

Tafel I.

Fig. 1. *Pleuronautilus (Enoploceras) Ausseanus* Dien. Feuerkogel, karnisch-norische Mischfauna, coll. Kittl.

» 2. } *Pleuronautilus (Enoploceras) lepsiusiformis* Dien. Feuerkogel, karnisch-norische Mischfauna, coll. Heinrich.
» 3 *a, b.*

» 4. *Pleuronautilus (Enoploceras) cf. planilateratus* Han. Feuerkogel, julische Hallstätter-Kalke, coll. Heinrich.

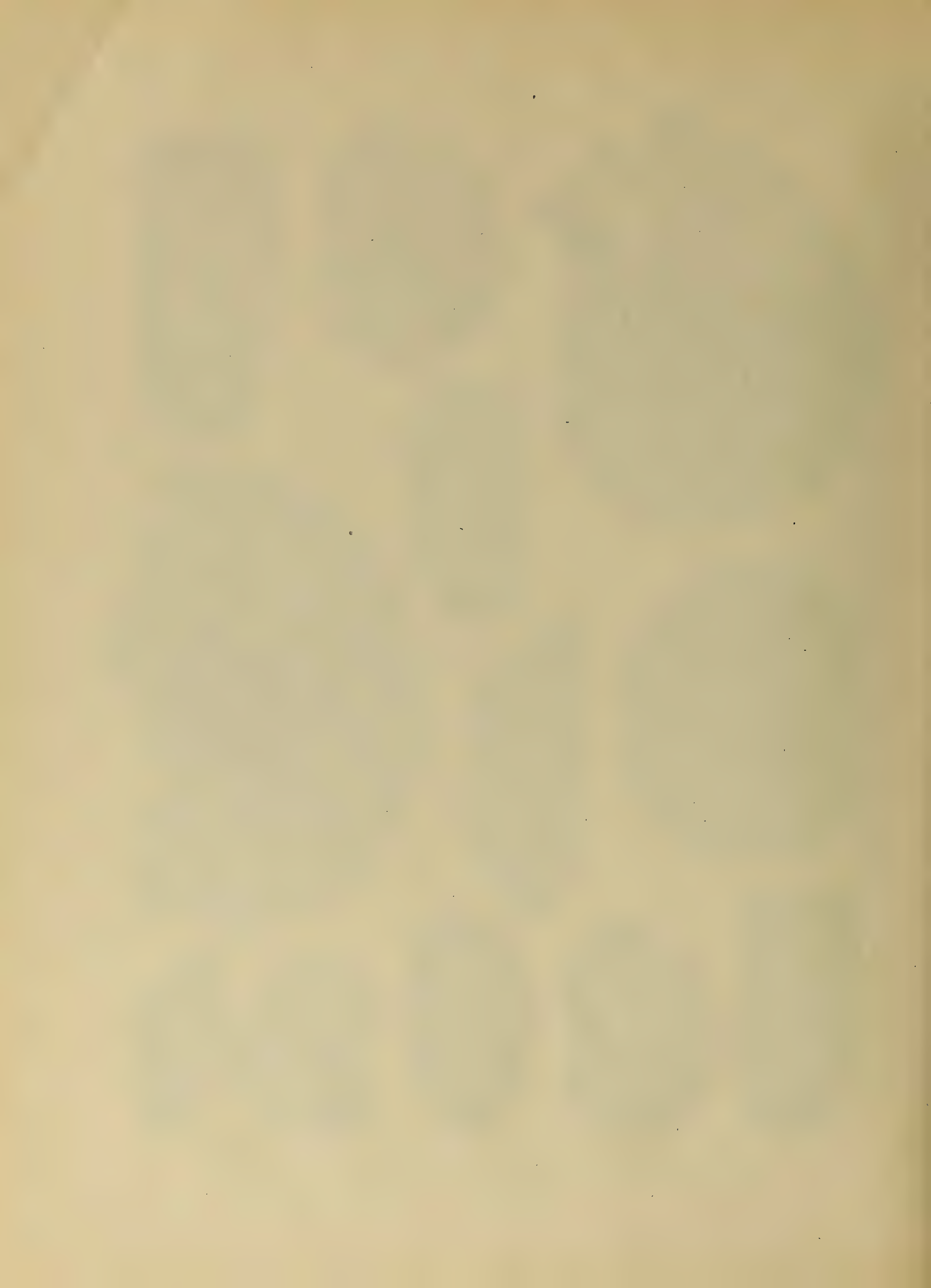
» 5 *a, b.* *Pleuronautilus (Enoploceras) Lepsiusii* Mojs. Feuerkogel, karnisch-norische Mischfauna, coll. Kittl.

» 6 *a, b.* *Pleuronautilus (Enoploceras) cf. Lepsiusii* Mojs. Feuerkogel, karnisch-norische Mischfauna, coll. Heinrich.

» 7 *a, b.* *Gryponautilus sp. ind. aff. Suessii* Mojs. Sommeraukogel, norische Stufe, coll. Heinrich.



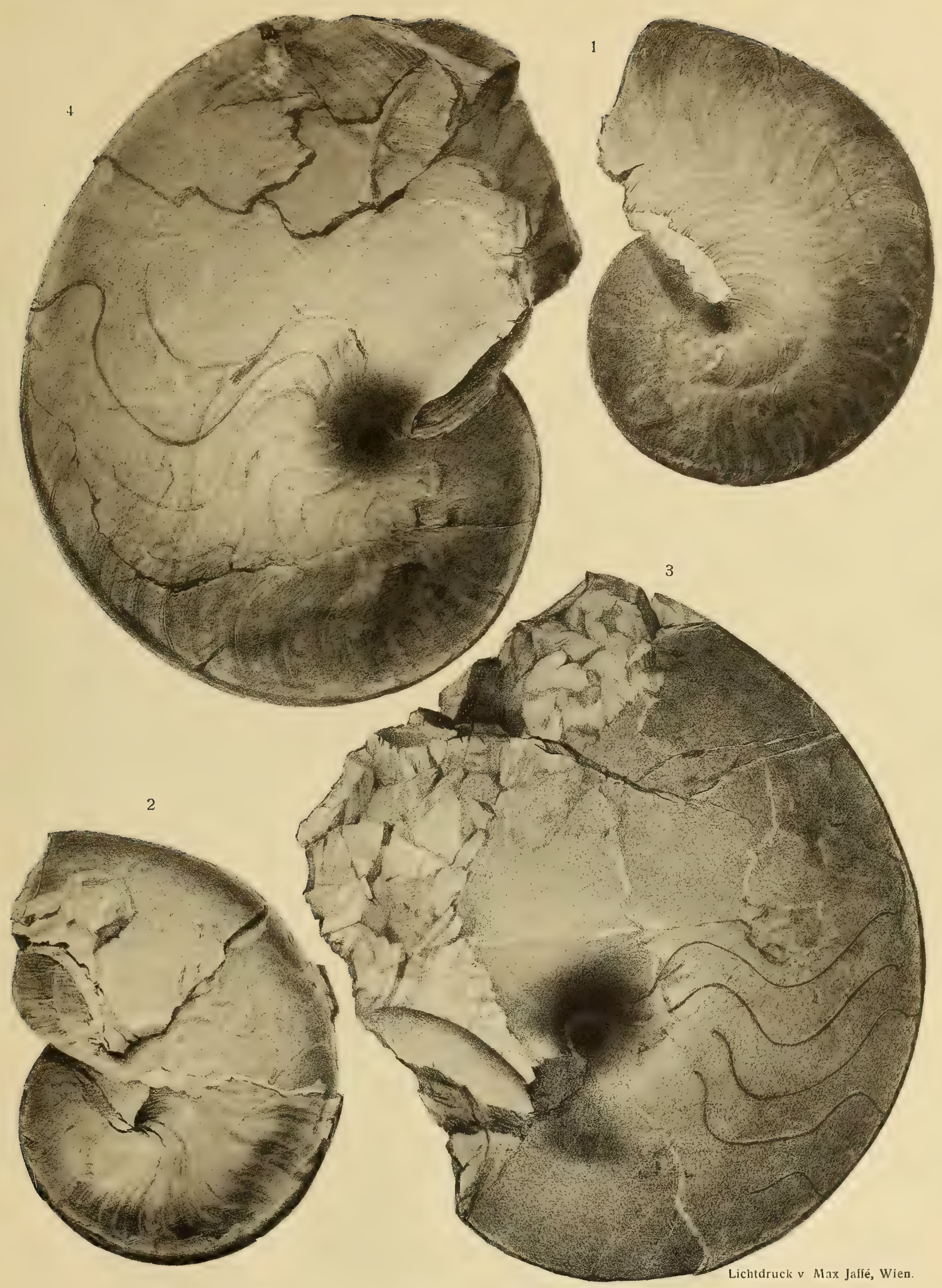
Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.



Tafel II.

Tafel II.

Fig. 1. *Proclydonautilus Griesbachi* Dien. Feuerkogel, karnisch-norische Mischfauna, coll. Kittl.
» 2. *Proclydonautilus Ernesti* Dien. Feuerkogel, *Subbullatus*-Schichten, coll. Kittl.
» 3. *Proclydonautilus Ermollii* Dien. Feuerkogel, *Subbullatus*-Schichten, coll. Kittl.
» 4. *Proclydonautilus buddhaicus* Dien. Feuerkogel, norisch-karnische Mischfauna, coll. Heinrich.



Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.



Tafel III.

Tafel III.

Fig. 1. *Proclydonautilus tuvalicus* Dien. Feuerkogel, *Subbullatus*-Schichten, coll. Heinrich.

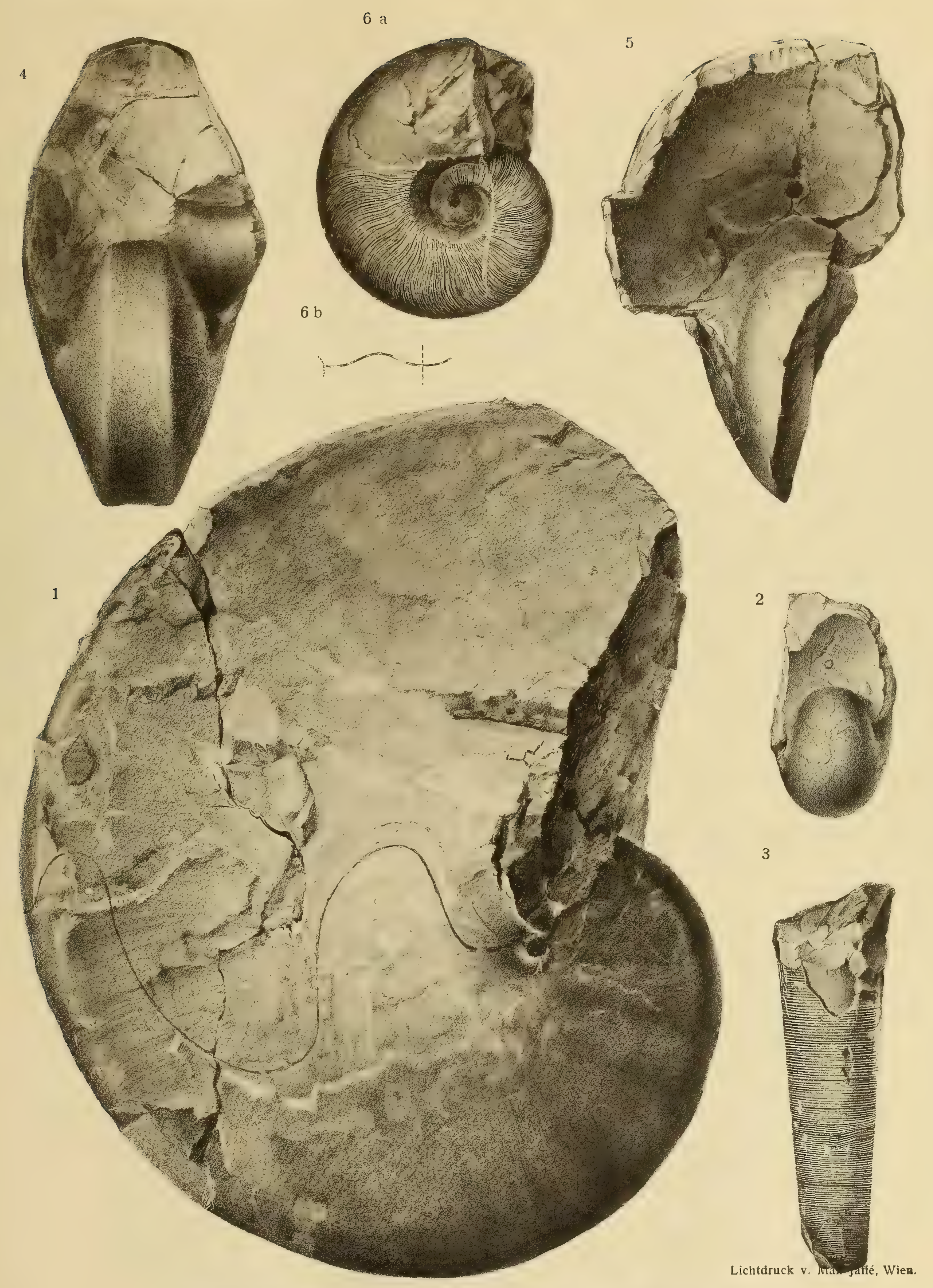
» 2. *Paranautilus modestus* Mojs. Feuerkogel, karnisch-norische Mischfauna, coll. Kittl.

» 3. *Orthoceras Mojsisovicsi* Sal. Schiechlinghöhe, *Trinodosus*-Schichten, coll. Heinrich.

» 4. *Proclydonautilus Griesbachi* Dien. Seitenansicht des auf Tafel II, Fig. 1 abgebildeten Exemplars.

» 5. *Germanonautilus Breunneri* Hau. Feuerkogel, *Subbullatus*-Schichten, coll. Heinrich.

» 6*a, b*. *Juvarionautilus Geyeri* Dien. Feuerkogel, karnisch-norische Mischfauna, coll. Heinrich.



Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.



GEOLOGISCHE FORSCHUNGEN IN VORDERASIEN

II. TEIL

C. DAS NÖRDLICHE ḤEĞÂZ

VON

DR. LEOPOLD KOBER

PROFESSOR DER GEOLOGIE DER UNIVERSITÄT WIEN

MIT 38 TEXTFIGUREN UND 4 TAFELN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 12. DEZEMBER 1918

Vorwort.

Im folgenden sind die Ergebnisse einer Reise niedergelegt, die ich 1910 in Begleitung des bekannten Arabienforschers Professor A. Musil gemacht habe.

Diese Ergebnisse erscheinen als der II. Teil der geologischen Forschungen in Vorderasien. Der I. Teil derselben ist im 91. Bande dieser Denkschriften 1915 erschienen und enthält:

A. Das Taurusgebirge.

B. Zur Tektonik des Libanon.

Das sind die Ergebnisse von Forschungen, die ich nach der Ḥeğâzreise allein unternommen hatte.

Erst jetzt, nach so vielen Jahren, komme ich dazu, das Ḥeğâzmaterial auszuarbeiten. Dies tut mir sehr leid, denn ich habe nach so langer Zeit, nach den mannigfaltigen Kriegsschicksalen, die tiefen Eindrücke dieser Reise nicht mehr so gegenwärtig, auch beschäftigen mich derzeit andere Fragen, so daß ich von meinem ursprünglichen Plane, dieser Arbeit einen weiteren Rahmen zu geben, absehen muß.

Das Ḥeğâz ist sicherlich in vieler Hinsicht ein interessantes Land und verdiente eine weitgehende Erschließung nach jeder Richtung. Diese wird auch kommen und ich glaube, daß der Ostumrahmung des Golfes von ʿAḳaba eine aussichtsreiche Zukunft beschieden sein wird, besonders wenn die Bahnverhältnisse gebessert und vor allem die Verbindung mit Ägypten hergestellt wird.

Dann wird auch die Erforschung des Ḥeğâz lang nicht mehr solche Schwierigkeiten bieten, wie dies noch vor Jahren der Fall war.

Inwieweit hier die Verhältnisse durch den Krieg geändert worden sind, ist mir unbekannt. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird die Verbindung mit Westen und Norden eine innigere werden. So wird von dort aus die Zivilisation gegen das Innere vordringen.

Ich werde hier nicht viel von den Äußerlichkeiten dieser Reise erzählen und verweise diesbezüglich auf die Darstellungen Musils.

Soweit es im Rahmen dieser Arbeit von Interesse ist, will ich kurz Ziel, Aufgabe, Art der Reise usw. anführen.

Durch die Vermittlung von Professor V. Uhlig und E. Suess, dem damaligen Präsidenten der Akademie der Wissenschaften, wurde mir von seiten der Akademie der ehrenvolle Auftrag zuteil, Professor Musil auf einer neuen Arabienreise als Geologe zu begleiten.

Wie Professor Musil in seinem Vorberichte darlegt, hatte er im Auftrage der kaiserlichen ottomanischen Regierung und des obersten Sanitätsrates in Konstantinopel den Auftrag erhalten, die Ḥeǧâzbahn auf der Strecke zwischen Maʿân und al-'Öla kartographisch aufzunehmen und topographisch und geologisch zu erforschen. Diese Arbeiten sollten 45 bis 60 Tage dauern und sollten die Grundlage abgeben für die Errichtung eines Lazarettes oder einer Quarantänestation im nördlichen Ḥeǧâz.

Meine Aufgabe im Rahmen dieser Expedition war somit klar gegeben. Ich habe freudig dieser Aufgabe zugestimmt und habe damit Gelegenheit gehabt, eines der interessantesten Länder des vorderen Orientes kennen zu lernen.

Die Reise in das Ḥeǧâz erfolgte von Wien über Alexandrien, Beirut, Damaskus nach Maʿân. Wir verließen Wien am 21. April, reisten von Maʿân am 26. Mai ab, Musil kehrte am 17. August wieder nach Wien zurück. Ich ging noch in den Taurus und traf erst im September in Wien ein.

Die Ḥeǧâzreise dauerte vom 26. Mai bis 10. Juli. In dieser Zeit reisten wir quer durch das nördliche Ḥeǧâz, indem wir uns von Maʿân zuerst ostwärts wandten bis al-Čabd. Von hier wollte Musil gerade nach Süden nach Tejma, hatte aber Schwierigkeiten und wurde zur Umkehr gezwungen. Wir gingen wieder westwärts, querten die Bahn und nahmen die Direktion nach ʿAḳaba am gleichnamigen Golf. Von dort ritten wir südwärts, kamen nach al-Ḥrajbe am Roten Meere. Dann gingen wir ostwärts nach Tebûk. Nach kurzer Rast zogen wir abermals aus, kamen in südwestlicher Richtung anfangs bis Rwâfa, dann erreichten wir, indem wir die Ḥarra durchquerten, in Südrichtung das Wadi Ǧizel. Hier wurde die Expedition gefangen genommen und zur Umkehr gezwungen. Im fluchtartigen Rückzug erreichten wir bei Muʿaẓẓam die Bahn. Dieser folgten wir von da ab bis Tebûk. Nach kurzer Rast konnten wir mit der Bahn nach Maʿân zurückreisen und von hier aus nach Damaskus.

Die Route unserer Reise ist auf der Karte ersichtlich.

Die Reise war äußerst anstrengend, zum Teil auch recht gefährlich. Wir reisten nach Art der Beduinen, trugen Beduinenkleidung. Wir hatten keine Zelte, gar nichts, was irgendwie zur Bequemlichkeit beitragen konnte. Unsere Karawane war recht klein: 3 Europäer: Professor Musil, sein bewährter Begleiter seiner früheren Reisen R. Thomasberger und ich, sowie 3 Einheimische: 1 türkischer Soldat, 1 Diener und 1 Mann für die Tiere. Wir hatten im ganzen 7 bis 8 Kamele. Wir mußten alle Arbeiten selbst verrichten. So gab es oft harte Anstrengung. Als eines der schwersten Stücke der Reise ist mir noch der Übergang über den Paß as-Sîk auf dem Wege von al-Ḥrajbe am Roten Meere nach Tebûk in Erinnerung.

Musil hatte während der Reise außer diesen vielen anstrengenden physischen Arbeiten noch die kolossale Aufgabe der Verhandlungen mit den Arabern. Bewundernswerte Geduld, viel Geschick, dann wieder entschiedenes Auftreten gehört dazu, hier durchzukommen. Meiner Ansicht nach erhöht sich das Verdienst Musils um die glückliche Lösung unserer Aufgaben noch mehr, wenn man bedenkt, mit welch geringen Mitteln wir reisen mußten.

Unsere kleine Karawane kam öfter in Gefahr. Dieses ständige Vorpostenspielen bringt in die Karawane mit der Zeit eine gewisse Unruhe hinein, und diese, glaube ich, kam am deutlichsten am Ende der ganzen Reise zum Ausdruck, als wir noch auf dem Wege nach Tebûk zurück Schwierigkeiten mit den türkischen Soldaten hatten.

Eine glänzende Leistung Musils war jedenfalls das Heraushauen der Expedition in den Tagen vom 30. Juni bis 2. Juli. Im Wadi al-Ǧizel wurden wir gegen Abend von einer Abteilung der Beli-

Beduinen überfallen, gefangen genommen und zum Teil auch ausgeraubt. Es gab recht wüste Szenen. Musil wird dies alles genauer schildern können. Ich, als der Sprache nicht mächtig, verstand ja das wenigste. Aber an dem, was ich sah, konnte ich wohl ermessen, daß es sich um das Letzte handelte. Musil hat sich damals im wahrsten Sinne brav geschlagen.

Daß es dort öfter heiß hergeht, konnte ich anfangs der Reise bei Ḥomejma erfahren. Ich wollte zur besseren Orientierung einen höheren Berg besteigen, entfernte mich zu weit von unserem Lagerplatz, kam auf meinem Wege zu einer Lagerstelle von Beduinen. Ich kam damals in eine schwere Situation. Aber es ging glücklicherweise immer gut ab. Die fortwährenden Beunruhigungen wirken aber doch auf die Dauer und man ist froh, wenn man diesen Gegenden heil entronnen ist.

Für den Geologen ist im Grunde nicht allzu viel zu holen: Die einförmigen Sandsteine auf so weiten Strecken, die Fossillosigkeit, die einfache Lagerung, die morphologischen Verhältnisse, alles in so geraden Linien, ohne Abwechslung und Erfrischung.

Wissenschaftlich ist dem Geologen bald die eintönige Reise eine Geduldprobe sondergleichen, besonders wenn im allgemeinen[1] so wenig Zeit bleibt zum Arbeiten. Ist aber einmal Interessantes zu sehen, dann ist oft nicht die Zeit zum Arbeiten vorhanden, da man an so vielerlei gebunden ist. Vor allem ist man von den Brunnen abhängig. Was nützt das schönste Profil oder Fossillagen, wenn man wegen Wassermangel nicht verweilen oder die Fossilien nicht aufnehmen kann, weil die Tiere zu belastet würden. Aus diesen Tieren wurde auf unserer Reise das Letzte herausgeholt. Mein Tier war so schwach, daß ich auf der Rückreise ein bis zwei Tage vor Tebûk immer fürchten mußte, es bräche unter mir zusammen.

Viel leichter wird die Erschließung dieses Gebietes werden, wenn die Ḥeğâzbahn wieder zugänglich wird, wenn in normaler Zeit auch ein Verkehr im Golf von ʿAḳaba sich entwickeln wird. Wie die Erfahrungen in Tebûk lehren, sind Teile dieser Gebiete kolonisationsfähig, vor allem die Küste, und das Land selbst bietet so viel des Eigenartigen, daß es um seiner selbst willen immer noch aufgesucht werden wird, ganz abgesehen von den großen historischen Fragen, die im Lande Midian zur Lösung stehen.

Die Ergebnisse sind an der Hand der Karte von Musil gearbeitet und werden klarer und leichter verständlich, wenn man über diese Karte verfügt.

Die Arbeit gliedert sich folgendermaßen:

1. Geschichte der geologischen Erforschung.
2. Geologische Beschreibung der Route.
3. Stratigraphie.
4. Tektonik.
5. Allgemeine Morphologie.
6. Rückblick.
7. Die Wasserverhältnisse.
8. Kolonisation.
9. Die Sinaifrage.

Literaturverzeichnis.

---

[1] Unsere Route ist zirka 1200 *km* lang. Sie wurde in nicht ganz 40 Tagen absolviert.

1. Geschichte der geologischen Erforschung.

Das nachfolgende Literaturverzeichnis bringt eine Liste von Autoren, die mit der wissenschaftlichen, beziehungsweise geologischen Erschließung des Ḥeğâz und seiner Umgebung verknüpft sind.

Geologische Literatur über das Ḥeğâz selbst gibt es nur sehr wenige. Das Ḥeğâz ist ja vor uns noch nie von einem Geologen zum Zwecke spezieller geologischer Studien bereist worden. Was an geologischen Notizen bisher bekannt ist, ist sozusagen gelegentliche Beobachtung von Geologen, meist aber von Reisenden, denen Geologie Nebenzweck war.

Geologisch ist die Umrahmung des Ḥeğâz relativ gut bekannt. Dies gilt besonders von der Sinaihalbinsel. Hier liegt die monographische Bearbeitung der englisch-ägyptischen Survey vor. Ebenso ist der Norden des Ḥeğâz, also Arabia petraea, beziehungsweise Palästina schon genauer bekannt. Die Verhältnisse in den genannten Ländern finden sich in der gleichen Weise eben auch im nördlichen Ḥeğâz.

Die Darstellung, die Sueß im Antlitz der Erde gegeben hat, trifft im wesentlichen die großen Züge und es ist wohl nicht viel anzufügen.

Geologische Karten dieses Gebietes existieren folgende: das Blatt F. 48, F. VII. der Carte géologique inter. de l'Europe (1 : 1,500.000). Dann gibt die geologische Karte von Palästina von Blanckenhorn eine gute Übersicht über den Bau von Arabia petraea. Die südlichen Teile dieser Karte sind nach meinen Darstellungen gezeichnet. Dann sind für das Wadi Arabah Lokalkarten von Hull 1889, für das Innere Arabiens Skizzen in den Werken Arabienreisender, so bei Doughti und anderen.

Der erste Geologe, der an der Ḥeğâzbahn südlich von Maʿân Beobachtungen machte, war Blanckenhorn, gelegentlich des Baues der Bahn. Sonst ist das ganze weite Gebiet noch nie von Geologen besucht worden, ausgenommen die Randgebiete des Roten Meeres.

Hier finden sich in diesem Gebiete, dann in der Fortsetzung nach Norden nach Palästina hinein die Arbeiten von Rußegger 1847, von Lartet 1869, von Hull 1884. Einige Notizen aus dem tieferen Ḥeğâz verdanken wir Auler Pascha, dann vor allen den kühnen Arabienreisenden Ch. Huber, Lady Anny Blunt, Doughti und Pilgrim.

---

2. Geologische Beschreibung der Reise.

1. Maʿân und Umgebung.

Vor und nach der Reise in das Ḥeğâz hatten wir kurzen Aufenthalt in Maʿân, und diese Tage benützte ich zu Studien über den geologischen Aufbau von Maʿân und seine Umgebung.

Maʿân liegt auf einer Hochebene 1074 *m* über dem Meere. Die Stadt selbst liegt abseits vom Bahnhof. Eine weitere Siedlung ist der Ort ăs-Šâmijje. (al-Morârʿa) Beide Orte gleichen kleinen Dörfern. Sie sind die letzten Kulturstätten an der Bahn, an der Grenze der Wüste gelegen.

Kalke, Sandsteine, Schiefer und viel Hornsteine bilden den Boden von Maʿân und Umgebung. Es ist Eozän und Oberkreide. Die Trennung der beiden Formationen ist nicht leicht, da die Kreide allmählich in das Eozän übergeht und Fossilien selten sind. Wenn man die syrische Kreide kennt, dann kann man wenigstens petrographisch vergleichend die Horizontale annähernd festlegen.

In der Umgebung des Bahnhofes finden sich Nummulitenkalke, die auch gebrochen werden. Blanckenhorn hat als erster die Verhältnisse von Ma'ân kurz geschildert, gelegentlich seiner Befahrung der Ḥeğâzstrecke von Ma'ân bis Baṭn Ṛûl, zur Zeit des Baues der Ḥeğâzbahn unter Exzellenz Meissner Pascha. Blanckenhorn beschreibt Dolomite, Kalke, dann Feuersteinbänke, Kalke mit Nummuliten, Fischzähnen, Orbitoiden, Seeigeln, Krabben, Knochenteile.

Das generelle Profil der Umgebung des Bahnhofes von Ma'ân ist folgendes:

Oben:

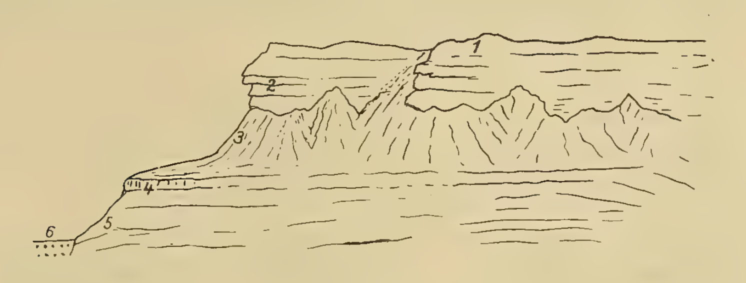
1. Rote und weiße sehr feste Nummulitenkalke, schön geschichtet.
2. Dünnschichtige, unebenflächige, Hornstein führende, weiße Kalke.
3. Braune, Hornstein führende, feste Kalke.
4. Weiße, Hornstein führende, sehr dünnschichtige Mergel mit Belemnitenspuren. Hornsteinhorizont.
5. Harte Mergelkalke und gröbere, feste, sandige Mergel mit großen Kalkkonkretionen, mauerbildend, harter Mergelhorizont.
6. Sonstige mergelige Schichten und sandige Mergel und Mergelschiefer von grauer bis rotbrauner Färbung, zirka 10 bis 15 *m* mächtig, weicher Mergelhorizont.
7. Sonstige mergelige Schichten mit großen (Kugel-)Konkretionen, Kugelhorizont.

Zu diesem Profile ist zu bemerken, daß es sich wahrscheinlich bei dem Nummulitenkalk um Mitteleozän handelt. Die tieferen Horizonte bilden den Übergang in die Kreide. Diskordanzen sind nicht zu sehen. Die weißen, Hornstein führenden Mergel sind offenbar die gleichen, wie sie sich auch im Antilibanon bei Damaskus noch finden. Sie gehören in die oberste Kreide, Senon, und zwar wahrscheinlich Danien. Die tieferen Horizonte nun lassen sich mangels Leitformen nicht sicher horizontieren, werden aber doch noch dem mittleren Senon zuzuzählen sein, da sie, wie wir später sehen werden, von Quarziten mit der mittelsenonen (Ostrea Lyonsi Newt.) Ostrea Nicaisei Coq. unterlagert werden (Campanien).

Es ist wohl anzunehmen, daß wir es hier mit einer im gewissen Sinne konkordanten und ununterbrochenen Schichtfolge zu tun haben, in der je tiefer wir gehen, desto mehr der marine Charakter einem litoral-kontinentalen weicht.

Im folgenden Profil finden wir in der Nähe des Bahnhofes die oberste Kreide folgend gegliedert: (Der ganze Komplex dürfte dem Danien entsprechen.)

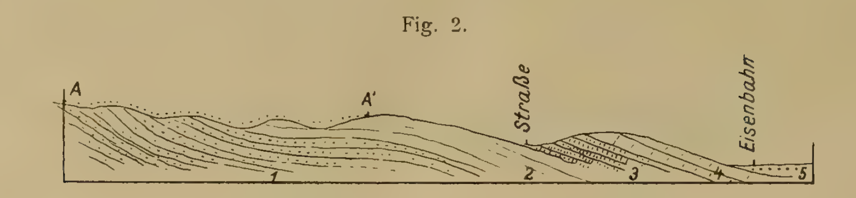
Fig. 1.



1. Zu oberst Mergel und Mergelkalke mit einem Belemnitenbruchstück. Hornsteine.
2. Harte Mergel mit kalkigen Konkretionen und Crinoidentrümmern.
3. Weiche Mergel und sandige Mergel mit wulstigen Schichtflächen und Sandröhren.
4. Härtere Mergel, sandig und kalkig mit kleinen Haifischzähnchen.
5. Wechsel von grauen und rotbraunen Mergeln und dünnen grauen Mergelschiefern.
6. Schotter des Wadi abu Dalak.

Das Eozän von Maᶜân gliedert sich folgend:

Fig. 2.



Die Linie des Kammes A—A' ist von Hornsteinen bedeckt.

1. Mächtige Hornsteinlager übergehend nach oben in bräunlich verwitternde Kalke und blaugraue weißgetupfte Kalke.
2. Bräunliche Kalke und auch hellere weiße Kalke. Nummuliten selten.
3. Weißer Nummulitenkalk mit dünnen Mergelschiefern als Zwischenlagen.
4. Zu oberst wenig mächtige mürbe Nummulitenkalke.
5. Schotter des Wadi Maᶜân.

Profil 3 gibt die Zusammensetzung des Eozän um Moṛârᶜa wieder.

Fig. 3.



1. Eozänkalk mit Hornsteinen.
2. Roter Kalk.
3. Nummulitenkalk.
4. Verkittete Komglomerate.

Die beiden folgenden Profile geben eine Übersicht über den Bau vom Bahnhof Maᶜân nach der Stadt Maᶜân und bis nach Moṛârᶜa.

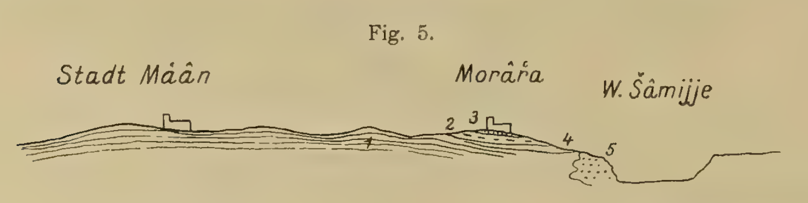
Die Störungen der Eozänkalke beim Bahnhof Maᶜân treten klar hervor, so die Aufwölbung der Kreidemergel des Senon im Untergrunde der Stadt Maᶜân. Moṛârᶜa liegt wieder auf Eozänkalken.

Fig. 4.

Bahnhof Mâân — Stadt Mâân

1. Schotter.
2. Eozänkalke.
3. Senonmergel.
4. tiefere Kreide.

Fig. 5.



1. Weiße Kreide, Hornsteinhorizont.
2. Rötlicher Nummulitenkalk.
3. Weißer Kalk mit Hornsteinen.
4. Nummulitenkalk.
5. Schotter des Wadi Šămijje.

Die Verbreitung des Eozän von Maᶜân und Umgebung ist jedenfalls keine bedeutende. Nach Westen hin tragen einige Hügel Eozänbedeckung, nach Osten tritt meist heller Senonmergel zu Tage, von Hornsteinfeldern bedeckt. Die Kalke des Eozän sind wasserdurchlässig, während die hellen Kreide-

mergel das Wasser festhalten. Die kleinen Wasserläufe im NW von Ma'ân liegen im Kreidemergel. Daher hat man in Ma'ân nach Durchbohrung der Schotter oder der Kalke in den Mergel und Schiefern der Kreide, besonders im Bette der verschiedenen Wadi, in ganz geringer Tiefe Wasser erbohrt.

2. Beschreibung der Route von Ma'ân bis al-Batra.

Die Route von Ma'ân über al-Čabd nach al-Batra gibt einen guten Einblick in den Aufbau von Arabia petraea, wenigstens der oberen Teile, die das Hochplateau bilden. Wie aus der Karte von Musil klar hervorgeht, bricht das Plateau, von al-Čabd an bis al-Batra zu, an einer W—O laufenden Steilmauer zu der tiefer gelegenen Landschaft des Ḥeğâz ab. Dieser Absturz ist recht scharf und scheidet das Hochplateau von Ma'ân, oder wie wir auch sagen können, von Arabia petraea, ziemlich scharf vom Ḥeğâz.

Das Hochplateau von Ma'ân ist eine Peneplain, die ziemlich gut erhalten ist, über verschiedene Schichtköpfe quer hinweg geht. Gegen Westen zu, gegen die Senke al-'Araba sowie gegen Süden zu, nach al-Batra, ist sie etwas aufgebogen. Aus der Peneplain ragen einzelne kleine Wellen heraus, im allgemeinen ist die gerade Linie des Horizontes überall ausgesprochen. Die Wadi sind zum Teil so flache Rinnen innerhalb der Ebene, daß sie kaum zu erkennen sind.

Zeugenberge finden sich weithin über die Ebene verstreut. Weite Hornsteinfelder breiten sich zwischen ihnen aus. Leuchtende Kreidemergel unterbrechen das eintönig flimmernde Hornsteinmeer, in dem die Fata Morgana duftige Palmenhaine vorzaubert. Wo die Hornsteine fehlen, bilden sich auch Böden, glatt wie Tennen, indem die zusammengeschwemmten Mergelböden erhärten und vom Winde ausgeblasen werden. Dann wieder bilden sich schotterartige Felder, offenbar den Wadi folgend. Im übrigen führt der Ritt über eine mit dünnem Gestrüpp bewachsene steinige, mit kleinen Sanddünen versehene Ebene von großer Monotonie. Das Bild wird erst lebendiger, wenn man sich dem großen Absturz nähert und man von hier aus über ein weites Wüstengebiet nach Süden sieht. Das ist das Gebiet südlich von al-Čabd, die Landschaft al-Maẓlûm. Auf der Höhe des Plateau befinden wir uns auf der Hamad, auf der Steinwüste.

Unter dem Absturz aber dehnt sich in unendlicher Weite die Sandwüste, ein weites Meer von Dünen, zwischen tafelartigen Zeugenbergen.

Am 26. Mai 1910 verließen wir gegen Abend Ma'ân, zogen vorerst ostwärts weiter über die Bahn bis al-Čabd, wandten uns von hier aus wieder gegen Westen, querten die Bahn bei 'Aḳabat al-Ḥeğâzijje, ritten auf dem Rande der Hochfläche von Ma'ân weiter bis Batra. Hier stiegen wir über den steilen Plateauabsturz in das breite Tal von Ḥomejma ab.

Von Ma'ân brachen wir gegen Abend auf und ritten im allgemeinen nach Südosten. Ich konnte noch das Profil des Weges aufnehmen.

Fig. 6.

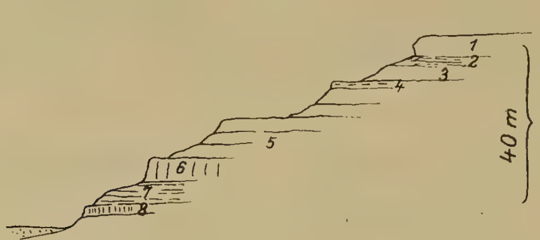
1. Sandsteine mit großen Kugelkonkretionen.
2. Mit Hornsteinen bedeckte Ebene.
3. Rotbraune Sandsteine mit Kugelkonkretionen.
4. Hornsteinebene.
5. Kugelhorizont, Mergel und Mergelschiefer, härtere und weichere Lagen, Sandstein mit charakteristischen Konkretionen.
6. Schotter des Wadi Aḳejḳa.
7. Hügel an der Eisenbahn mit hellen Kreidemergeln.
8. Kreidemergel.
9. Hügel von al-Twêrên, wahrscheinlich mit Eozänkalken.
10. Wadi Rwesi.
11. Lagerplatz.
12. Mergel.
13. Weiche Kalke mit einigen Pectiniden.

Der weitere Weg geht über eine mit Hornsteinen bedeckte Ebene. Kleine Steilstufen treten auf. Dann wieder weiße Bodenwellen mit Senonmergeln. Bis al-Minwa bewegt man sich auf einer endlos scheinenden Hornsteinwüste. Diese setzt nach Süden fort bis al-Čabd. Hier bringt eine kleine Tafel mit höheren Gesteinskomplexen eine erfreuliche Abwechslung.

Es sind oben Hornsteinbänke mit Kalken des Eozän, darunter senone Mergel. In einem der Horizonte finden sich abgerollte Schalentrümmer, Austern, Seeigel, Nautilustrümmer.

Das Profil dieser interessanten Stelle ist folgendes:

Fig. 7.



1. Schwarze dünne Hornsteinbänke. Grenze von Eozän und Kreide.
2. Kieselige Kalke.
3. Lichter Kalk.
4. Rauchwackenbank.
5. Weiße Mergel mit Bruchstücken von Bivalven.
6. Weiße Mergel mit Nautiliden.
7. Weiße Mergel mit Bivalventrümmern.
8. Mergel mit einer braunen und roten Zwischenlage.
9. Angeschwemmte Kreidemergel.

Die Kreidemergel, dem Senon angehörig, bilden einen steilen Abfall in die Ebene. Der Absturz läuft in der Richtung NW—SO, an der Fossilfundstelle fast N—S.

Die Kreideebene stürzt mit einem jähen Abfall wieder in die Landschaft al—Maẓlûm ab. Schematisch sind die Verhältnisse in Fig. 8 dargestellt.

Fig. 8.



1. Ist die Ebene des Mazlûm aus Sandstein bestehend.
2. Ist die Kreideebene.
3. Ist das Plateau al-Čabd.

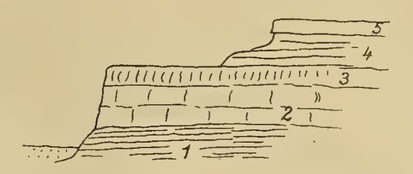
Der geologische Bau gibt das folgende Profil:

Fig 9.

1. Schotter.
2. Nubischer Sandstein (Turon-Zenoman?)
3. Kreide (Senon-) Mergel.
4. Hornsteinebene.

Der Absturz in die Wüste Maẓlûm zeigt folgendes Profil:

Fig. 10.



1. Mergel und braune Sandsteine.
2. Quarzite mit Fossilspuren (wahrscheinlich identisch mit den Quarziten, die westlich Ostrea Lyonsi führen).
3. Braune Sandsteine und Quarzite.
4. Kreide- (Senon-) Mergel.
5. Hornsteinbank.

Diese Profile geben einen guten Einblick in die Schichtfolge. Die obersten Lagen von al-Čabd sind zweifellos Eozän, das Tiefere ist Kreide. Und zwar handelt es sich hier um eine ununterbrochene Schichtfolge. Die Ähnlichkeit der obersten weißen Mergel mit dem senonen Mergel gibt auch hier das Recht, sie für Senon zu halten, und zwar handelt es sich um die obersten Danienhorizonte. Die tieferen Lagen dürften dem Campanien zufallen. Leider sind die paar Fossilien, die ich mitnehmen durfte und konnte, wenig brauchbar. Aber diese Kreidehorizonte von al-Čabd sind sicher fossilreich und werden von der Ḥeğâzbahn aus einmal leichter ausgebeutet werden können.

Dem Campanien fällt auch die Zone der Quarzite zu, die reich ist an Ostrea Nicaisei Coq. Diese Quarzite finden sich in unserem Profile zwar noch nicht, treten aber weiter im Westen auffallend hervor.

Die Kreidefelsen ziehen mit scharfen Abbrüchen gegen Westen. Zu Füßen die Ebene, die selbst wieder mit einer großen Steilstufe abfällt. Zu oberst Quarzit, dann zirka 4 *m* Kalk mit Fossilien, darunter zuerst gelber Mergel und Sandstein mit Wellenschichtung, darunter wieder rotgefärbte Schichten. Diese bilden den Boden der Wüste nach Süden.

Wir stiegen zuerst die Steilstufe hinab zum Brunnen al-Čabd, erkletterten später wieder das Kreideplateau und ritten an dem Absturz entlang nach Westen.

Es ist ein ödes Plateau mit meist großen kugeligen Sandsteinblöcken, die schalige Abblätterung aufweisen.

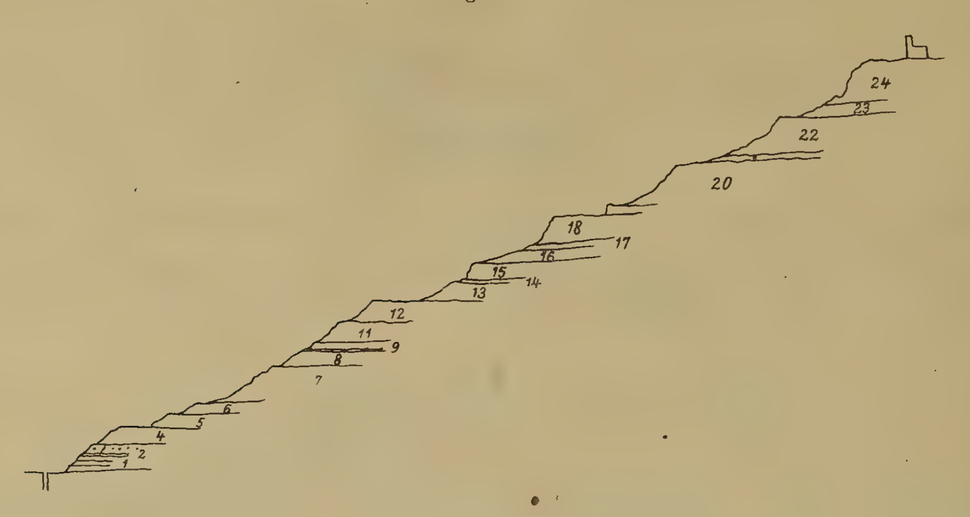
Längs des Absturzes lassen sich interessante Beobachtungen machen über die Abtragung, beziehungsweise Erosion. Die Plateaus werden vom Winde ausgeblasen. Durch die Deflation erfolgt die Forträumung des Schuttes. Der Wind ist es hauptsächlich, der durch Ausblasen die Steilhänge unterhöhlt. Die Hornsteindecke bildet ein festes Dach über solchen Höhlungen. Sie ragt ähnlich einer Schneewächte über den Hang hinaus. Durch ihr natürliches Gewicht sinkt sie nach, zerbricht, und die Trümmer rollen den Hang hinab. Die großen bleiben liegen, die kleinen zerfallen leichter durch Verwitterung. Sand- und Mergelteilchen führt der Wind fort. Durch die Selektion des Windes bleiben bloß die großen Blöcke liegen. Diese räumt erst das Wasser fort.

Durch lange Andauer dieses Vorganges entsteht hauptsächlich auf trockenem Wege eine Rückverlegung des Erosionsrandes.

Der Weg auf dieser Strecke bis über die Bahn nach Westen zeigt wenig Abwechslung. Neu sind im Bilde die vielen Quarzitgesteine. An einer Stelle konnte ich auch die bereits durch Blanckenhorn bekannte Ostrea Nicaisei Coq. finden. Dieser Horizont gehört dem Campanien zu und bildet die Unterlage offenbar der Ebene von Maʿân, so daß die meisten der bisher besprochenen Horizonte teils dem Campanien, teils den Danien zugehören dürften. Die Lagerung ist überall eine horizontale.

Unser Weg führt weiter nach al-Batra. Beim Aufstieg zur Höhe ergibt sich folgendes Profil:

Fig. 11.



1. Weiße feste Kalke 1 *m.*
2. Sandig kieselige Kalke $^1/_4$ *m.*
3. Feinkörniger Quarzit mit Zwischenlagen von Kieselkalk.
4. 6 *m* Quarzit, meist weiß und feinkörnig.
5. 2 *m* sandiger Kalk.
6. 3 *m* Quarzit.
7. 10 *m* Wechsel von sandigem Kalk und Quarzit.
8. 3 *m* sandiger Kalk von roter Farbe.
9. 1 *m* Quarzit.
10. 30 *cm* dünne Zwischenlage von sandigen Kalken von bräunlicher Farbe.
11. 5 *m* feinkörnige Quarzite, manche ganz weiß.
12. Wie 1.
13. 3 *m* sandige, weiße, feinkörnige Quarzite mit Diagonalschichtung.
14. Mergelige Zwischenlage.
15. Quarzit und Konglomerat.
16. Schwarzer, muscheliger, feinkörniger Quarzit.
17. Große Blöcke von löcherigem, dichten und grauen Quarzit.
18. 10 *m* Kalk, Sande und Sandsteine von weißer bis rötlicher Farbe, nach oben in Quarzite übergehend, zieht als eine Bank am Hange durch.
19. Quarzit.
20. Quarzitband.
21. Sandsteinbank.
22. 70 bis 80 *m* Sandstein mit Diagonalschichtung, Regentropfen, Furchung, mit Einlage loser, rötlicher und weißer Sande und Fossilien.
23. Lumachellenbank in rötlichbraunem Quarzit.
24. 40 *m* Quarzit mit Knochentrümmern, Zähnen.

Von der Höhe von al-Batra, auf dem sich noch die Reste eines römischen Kastells befinden, hat man einen schönen Überblick über das Land. Al-Batra ist eine dominierende Stellung. Es liegt 1576 *m* über dem Meere. Von hier senkt sich das Land gegen Nordosten langsam ab. Dort liegt in der Ferne Maʿân 1074 *m.*

Nach Nordosten hin breitet sich die Hochebene von Maʿân, nach Süden zu sehen wir in die Zeugenberg-Landschaft des nördlichen Ḥeǧâz.

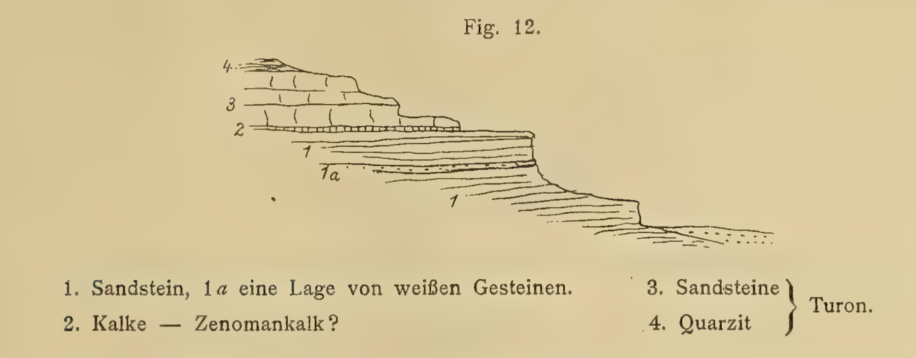
Lebhaft gefärbte Sandsteine, Zeugenberge ringsherum. Das Bild einer echten Wüstentektonik.

In den Tälern waren bisher immer diese unter dem Quarzit von al-Batra liegenden Sandsteine auch geschlossen. Die Höhen bilden die Quarzite mit den Austern. Es soll hier gleich bemerkt werden, daß bei Delâra als Basis dieses Systems Kalke hervortreten mit Ostrea olisoponensis, die dem Zenoman angehören. Daher repräsentiert das Profil von al-Batra das Turon. Die kalkige Entwicklung des Libanon geht in die Wüstenentwicklung über. Die Quarzite halte ich für in das Meer wandernde Dünen. Darum enthalten sie Austern, Fischzähnchen etc.

Von al-Batra sieht man tief in das Ḥeǧâz hinein. Die Turonserie setzt sich über das imposante Ramgebirge nach Süden fort.

Der Absturz gegen Süden zeigt im großen folgendes Profil:

Fig. 12.



1. Sandstein, 1*a* eine Lage von weißen Gesteinen.
2. Kalke — Zenomankalk?
3. Sandsteine } Turon.
4. Quarzit }

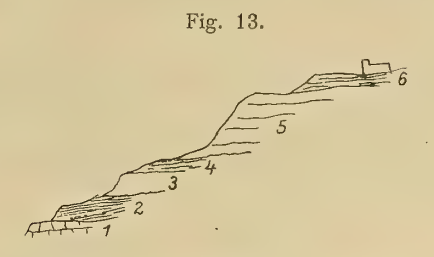
Die Gipfelquarzite von al-Batra führen kleine Einschaltungen von Bändern eines rötlichweiß getupften Kalkes und Sandsteines mit Resten von Fischen und Knochen. In den Quarziten finden sich auch Bivalven.

3. Von al-Batra bis al-ʿAḳaba.

Von al-Batra steigen wir gegen Delâṛa hinunter und verqueren den Steilabfall gegen Südwesten. Wir kommen damit in die Unterlage der al-Batra-Gesteine und erreichen beim Brunnen Burḳa das Zenoman. Es sind Kalke, reich an Fossilien. Überall finden sie sich im Gehänge; Austern, Seeigel. Dieser Zenomanhorizont ist eine wichtige wasserführende Schicht. Eine Reihe von Brunnen liegen in dieser Zone.

Von der Höhe von al-Batra zum Brunnen erhalten wir folgendes Profil:

Fig. 13.



1. Kalk mit Austern, Seeigeln, wasserführendes Zenoman.
2. Sandstein und Quarzit.
3. Sandstein.
4. Quarzit.
5. Sandstein.
6. Quarzit.

Diese Kalke sind offenbar die höheren Horizonte. Weiter unten in der Tiefe treffen wir auf lebhaft gefärbte, gipshaltige, grüne Mergel, die ebenfalls reich an Austern sind. Diese Schichten bilden zusammen das Zenoman. Ich konnte von den vielen Fossilien, die hier zu finden waren, nur einige Stücke mitnehmen.

Aus diesen Schichten habe ich gesammelt:

Heterodiadema libycum Cott.

Goniopygus Brossardi Coq.

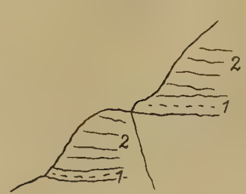
Ostrea flabellata D' Orb.

» olisoponensis Scharp.

Wir steigen weiter in das Tal, um nach Ḥomejma zu gelangen, in die Unterlage der al-Batra-serie. Dabei können einige kleinere Verwerfungen aufgedeckt werden, die zeigen, daß die Tektonik doch nicht so einfach ist.

So findet sich folgendes Profil:

Fig. 14.



1. Weiße und grünliche Mergel (Zenoman). 2. al-Batraserie, Kalke etc.

Beim Lager kann ich abends im Tale noch das folgende Profil aufnehmen:

Fig. 15.



1. Kalk (Eozän?).
2. Hornstein.
3. Kreidemergel (Senon?).
4. Schotter mit Nummulitengeröllen.

Das Profil 16 zeigt ebenfalls eine größere Störung.

Fig. 16.



1. Kalk (Eozän).
2. Weiße Kreidemergel (Senon).
3. Hornstein.
4. Eozänkalk.

Schematisches Profil durch das Gebirge beim Austritt in die Ebene von Homejma:

Fig. 17.



1. Weiße und rötliche Mergel (Zenoman).
2. al-Batraserie.
3. Versenkte Kreideschollen mit Hornsteinen.
4. Schotter.

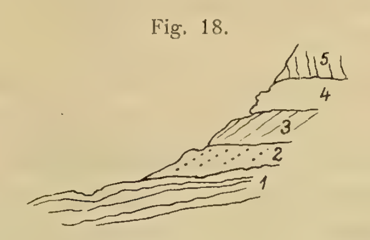
Interessant sind die Schotter höher oben im Tale. Sie sind noch gestört und erinnern sehr an die Schotter der Ebene al-Ṣahra im Antilibanon.

Es sind tiefergreifende Störungen, die hier sich erkennen lassen. Offenbar handelt es sich um Versenkungen senoner und noch jüngerer Elemente (Eozän), ganz abgesehen natürlich von den Schottern, die von den Störungen mitbetroffen worden sind. Diese Schotter fand ich in gleicher Ausbildung und ähnlicher Position, wie gesagt, im Libanon und ich traf sie auf unserer Reise noch weiter südlich, so bei Bedʿ am Golfe von ʾAḳaba.

Es sind dies jene Schotter, die nach Blanckenhorn weite Verbreitung in Syrien haben, wie dies klar aus seiner geologischen Karte von Palästina hervorgeht, die alt diluvial sind, und die den Beginn der Flußbildung anzeigen und die selbst noch die großen Störungen mitgemacht haben.

Die Dislokationen dieser Gegend sind offenbar Parallelbrüche des großen syrischen Grabens. Weiter hinaus in die Ebene lernen wir die tieferen Gesteine der al-Batraserie kennen.

Fig. 18.



1. Braune Sandsteine (nubischer Sandstein).
2. Weiße Sande mit Kieselgeröllen, Sande von Ḥomejma.
3. Weiße und rötliche Mergel mit Exogyren.
4. Kalk mit Hornsteinbändern.
5. Kalk (Zenoman).

Dieses Kalklager ist wahrscheinlich dasselbe, das beim Brunnen Burḳa so reich an Ostreen ist. Die grünen Mergel mit den Kalken sind die Fundstellen der oben genannten kleinen zenomanen Fauna.

Die Ausbildung der Kreide ist bisher noch dieselbe, wie sie im Wadi ʿAraba von den verschiedenen Forschern konstatiert worden ist. Es ist die peträische Fazies.

Nach Süden nun wird die Sache anders.

Die zenomanen Mergel und Kalke verschwinden, die darüberliegenden mannigfaltigen Glieder des Turon und Senon, vielleicht sogar des Eozän, gehen in einförmigere Sandsteine über, die mit der tieferen Serie des eigentlichen nubischen Sandsteines zu einer Einheit verschmelzen.

Bis zum Tale von Ḥomejma haben wir die ganze Schichtfolge kennen gelernt.

Das Grundgebirge liegt zum großen Teile auf dem westlichen Teile des Tales, auf der Ostseite dagegen herrscht die sedimentäre Serie.

Das breite, von Sanden, Schottern erfüllte Tal ist wahrscheinlich ein tektonisches Tal, eine Art von Graben. Dislokationen, die auf solche Verhältnisse hindeuten, haben wir bereits in den Störungen beim Abstieg vom Plateau kennen gelernt.

Auch weiter noch im Süden dann kommen Parallelverwerfungen in der Fortsetzung des Talzuges. Alle diese Dislokationen verlaufen N—S und sind parallel mit den Brüchen des Wadi ʿAraba und des Golfes von ʿAḳaba. Es sind aber untergeordnete Dislokationen.

Im Wadi von Ḥomejma sehen wir zum ersten Male auch die alte Rumpffläche des alten Grundgebirges hervortreten.

Die Ebenheit dieser Fastebene ist geradezu erstaunlich. Auf weite Strecken hin ist die Rumpffläche in aller Klarheit zu verfolgen. Das ist ein sehr eindringliches Bild.

Wir lernen damit die zweite Rumpffläche kennen. Die erste war die der Hochfläche von Maʿân. Auch die Fastebene, die über die eozänen und kretazischen Gesteine hinweggeht, ist deutlich ausgesprochen. Sie stammt aus der Zeit nach der Bildung der Eozänkalke bis zur Grenze von Tertiär und Quartär.

Diese Fastebene ist durch die altquartären Bewegungen angegriffen worden. Sie wurde gehoben, und zwar, wie es scheint, gegen Westen zu stärker als gegen Osten. Gegen al-Batra zu erscheint die Peneplain wie aufgebogen.

Dieselbe Aufbiegung läßt sich auch in der Peneplain des Grundgebirges beobachten. Es kann eine Art Schrägstellung angenommen werden, derart, daß die Rumpfflächen im Westen höher liegen als im Osten.

Die Abdachung der Ebenheit von Maʿân nach Osten kommt in den Wadirichtungen gegen die Senke al-Ǧafar recht klar zum Ausdruck.

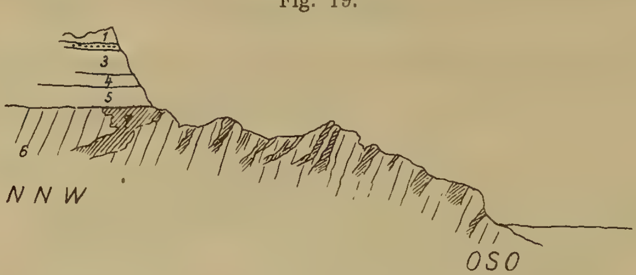
Die beiden Fastebenen liegen in den bisher besprochenen Gebieten annähernd parallel. Wir wenden uns nunmehr dem Grundgebirge und seiner unmittelbaren Auflagerung zu.

Über die Zusammensetzung des Grundgebirges geben die Hänge auf der Westseite des Tales Aufschluß. Es sind rote Granite, stark durchsetzt von dunklen basischen Massen. Es ist ein wirres Nebeneinander von lichteren und dunkleren Lagen, das in dem vegetationslosen Terrain gut aufgeschlossen ist.

Diese Verhältnisse veranschaulicht das Bild 1 auf der Tafel IV. Es stammt vom westlichen Gehänge des Tales von al-Ḳwêra.

Im folgenden Profil ist ein Schnitt durch das Grundgebirge und den auflagernden nubischen Sandstein gegeben. Es zeigt das Grundgebirge von basischen Gängen durchbrochen und oben vollkommen horizontal von dem nubischen Sandstein überlagert. Das Grundgebirge zeigt ein Fallen nach N—W mit zirka 45°.

Fig. 19.



1. Ockerfarbener nubischer Sandstein.
2. Schwarzer Sandstein.
3. Weißer Sandstein.
4. Roter Sandstein.
5. Lichtfarbener Sandstein mit rötlichen Einlagen.
6. Grundgebirge (Granit).
7. Basische Gänge.

Von Ḳwêra aus hat man einen guten Überblick über das ganze breite Tal.

Die Westbegrenzung bildet das Grundgebirge, auf dessen Peneplain in einigen wenigen Fällen Kappen von Nubischem Sandstein sitzen. Die Höhen des Grundgebirges sind nicht groß. Oberflächlich verwittert, ist es von einer Verwitterungsschicht bedeckt. Der Aufbau des Grundgebirges wird überall augenscheinlich.

Das Tal selbst ist eine breite schutterfüllte Ebene. Einzelne Tafelberge treten in ihr wie Inseln hervor. Die Kuppen sehen wie ertrunken in der Schotterebene aus. Offenbar war das Tal früher viel tiefer und ist erst durch die Schotter hoch hinauf angefüllt worden.

Im Osten stehen höhere Gebirge wieder. Sie bilden die Fortsetzung des Steilabsturzes von al-Batra. Aber es ist keine einheitliche Wand mehr, sondern sie ist in eine Anzahl größerer Stöcke oder Schollen von Tafelbergen aufgelöst.

In den Wänden dieser Berge ist der Aufbau deutlich aus der Ferne zu erkennen. Unten der nubische Sandstein, dann die weißen Sande von Ḥomejma, darüber die zenomanen Kalke. Darüber die al-Batraserie.

Ein Bruch ist hier nicht sicher zu erkennen. Die Verhältnisse des Tales von Ḳwêra gibt folgende Figur wieder:

Fig. 20.

Ḳwêra

Ost

W

1. Granit.
2. Nubischer Sandstein.
3. Sande von Ḥomejma.
4. Zenomane Kalke und turone Sandsteine.
5. Schotter.

Nach Süden hin verengt sich die Ebene. Östlich ziehen sich Wadi in das Râmângebirge, gerade nach Süden lauft das Wadi Merṣe'd, nach rechts aber öffnet sich der Ausgang zum Golf von 'Aḳaba.

Dieses Tal ist offenbar eine junge Anzapfung des Wadi von Ḳwêra durch die rasch einschneidende Erosion von der Seite des Roten Meeres.

Unser Weg führte uns nicht mit diesem jungen Tal direkt nach 'Aḳaba hinunter, sondern wir gingen in der Fortsetzung der Ebene von Ḳwêra weiter nach Süden, nach al-Merṣe'd.

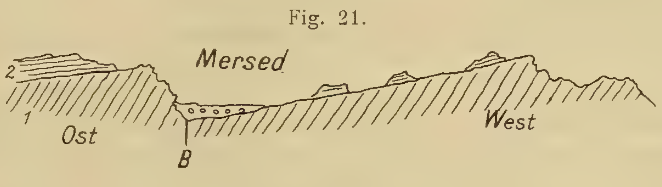
Die scheinbar einfachen Verhältnisse sind in Wirklichkeit, wenigstens im kleinen, komplizierter. Man sieht diese Dislokationen, wenn die Gebirge hoch genug aus dem Schotter auftauchen.

Beim Eingang in das Tal von Ḥomejma wurden N—S laufende Dislokationen verfolgt. In dem Tal selbst konnte nichts sicheres über den tektonischen Charakter des Tales eruiert werden. Beim Ausgang (im Süden) aus der Ebene von Ḳwêra aber treffen wir wieder auf N—S laufende Dislokationen. Diese können wir dann im al-Merṣe'd weiter nach Süden verfolgen. Es sind Brüche, derartig, daß nach Osten hin sich Staffeln bilden, die immer wieder mit Granit gegen den von Westen her absinkenden Sandstein absetzen.

Es sind im allgemeinen Parallelbrüche zum Hauptbruch des Golfes von 'Aḳaba.

Diese Verhältnisse lernen wir sofort beim Eingang in das Wadi al-Merṣe'd kennen.

Fig. 21.



1. Grundgebirge. 2. Nubischer Sandstein.
B. Bruchlinie.

Die Auflagerung der nubischen Sandsteine über dem Grundgebirge zeigt das Bild 3 auf Tafel IV.

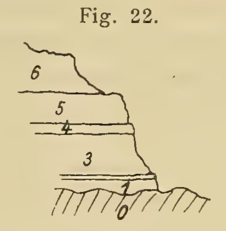
Weiter nach Süden wird im Grundgebirge Faltung bemerkbar. Es lassen sich antiklinale Aufbiegungen beobachten, dessen Streichen O—W geht.

Der Granit tritt im Grundgebirge in mächtigen Stöcken auf. Es ist ein Granit mit großen roten Feldspaten, großen Biotittafeln, wenig Quarz. Der Granit verwittert tief hinein, zerfällt in Sand, der stellenweise eine beträchtliche Verwitterungsrinde bildet.

Die Zusammensetzung des Nubischen Sandsteines über dem Granit ist folgende:

1. Grober Sandstein, ein Gemenge von Quarz, rotem Feldspat, wenig Glimmer.
2. Dünne Lage eines Mergels.
3. Quarz-Feldspat-Sandstein.
4. Roter Feldspatsandstein.
5. Quarzsandstein mit feineren Zwischenlagen.
6. Ockergelber Quarzsandstein.
0. Granit, Biotitgranit.

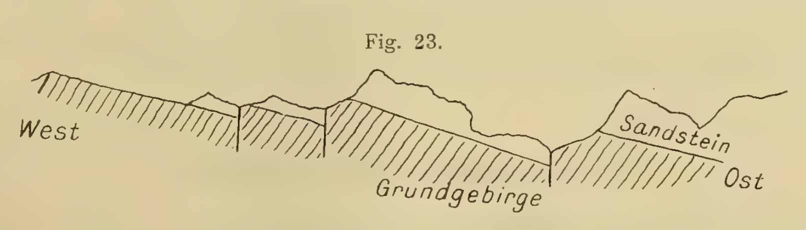
Fig. 22.



Wie aus diesem Profil hervorgeht, ist der Nubische Sandstein aufgearbeiteter Granit.

Was nun die Tektonik des Merṣe'd anbelangt, so gibt das folgende Profil Einsicht in die Bruchtektonik, die hier den Bau beherrscht. Es sind aber nur lokale Phänomene. Es zerfällt das Gebirge in eine Reihe kleiner Schollen. Die Brüche lassen sich eine Strecke weiter nach Süden verfolgen.

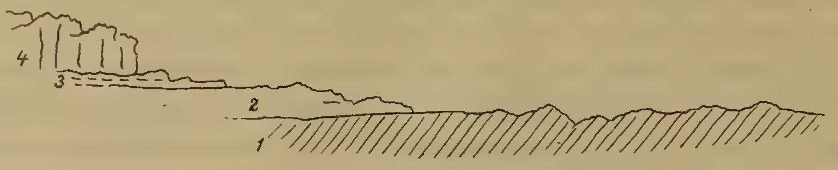
Fig. 23.



Von der Côte 1387 (ammu Zḳûḳ), wo unsere Route sich nach Nordwesten wendet, hat man gute Übersicht über den Bau im Süden und Osten.

Das hohe Gebirge im Osten zeigt noch den gleichen Aufbau wie Ḥomejma.

Fig. 24.



1. Grundgebirge.
2. Roter nubischer Sandstein.
3. Weißer Sandstein (Ḥomejma-Horizont).
4. Kalk und Sandstein (Zenoman + Turon).

Nach Süden hin breitet sich weithin das Grundgebirge aus. Sehr schön ist dabei die alte Peneplain zu sehen. Die Gipfel sind aus ihr herausgeschnitten.

Fig. 25.



1. Grundgebirge.
2. Nubischer Sandstein.
3. Weiße Sandsteine von Ḥomejma.
4. Kalke und Sandstein (Zenoman + Turon).

Hier im Süden gewinnt das Grundgebirge immer mehr Raum und drängt den Sandstein immer mehr gegen Osten hin.

Die Peneplain des alten Grundgebirges verfolgen wir auch gegen das Meer. Es ergibt sich folgender Querschnitt gegen den Golf von 'Aḳaba.

Fig. 26.



Auf dem Wege zum Meer hinab durchquert man hauptsächlich Grundgebirge. Hier lassen sich im Aufbau drei Ganggenerationen nachweisen. Klüftung des Granits W—SO. Die eine Ganggeneration quert fast horizontal, die zweite geht in der Richtung NW—SO durch, die dritte hat die Richtung WSW—ONO.

Fig. 27.

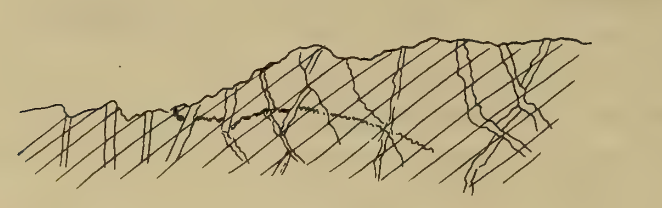


Fig. 28.

Das Tal hinunter nach 'Aḳaba zeigt junge ungestörte Schotteranhäufungen, die sich am Ausgang des Tales in zwei Terrassen gliedern: Hoch- und Niederterrasse (Fig. 28).

4. Von 'Aḳaba bis al-Ḥrajbe.

Wir haben bisher die ganze Schichtfolge vom Grundgebirge bis zu den Eozänkalken von Ma'ân kennen gelernt. Auf dem Wege längs des Meeres lernen wir nun die jungen marinen Bildungen, die mit dem Einbruch des Roten Meeres zusammenhängen, kennen.

Es sind Schotter, feinere Sande, Korallriffe. Alle diese Bildungen sind zum Teil noch gestört. Es sind Bildungen, die analog sind den Schottern nördlich von Ḥomejma, wie ich sie ferner auch im Libanon getroffen habe.

Bei 'Aḳaba bauen sich diese jungen Bildungen folgendermaßen auf:

zu oberst 1. grobe Schotter.
2. Korallenstöcke.
3. Korallenknollen.
4. Mergel und Sande mit Gastropodentrümmern.

Die Profile, die diese Bildungen aufzeigen, variieren stark. Ein anderes Profil zeigt

oben: 1. grobe Schotter.
2. Wechsel von feinen Sanden mit göberem Schutt.
3. Schotter mit großen Geröllen.

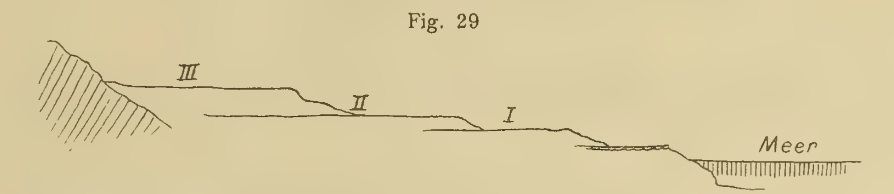
Wieder ein anderes Profil zeigt

oben: 1. größere Mächtigkeit von Geröllagern.
2. Korallenbänke.
3. Konglomerate.

In einem anderen Profil überwiegt wieder mehr das feinere Material, und es kommt zu Wechsellagerungen von Sanden und Korallenbänken. Das gröbere Material liegt offenbar näher dem Gebirge zu.

Diese Bildungen zeigen alle eine deutliche Terrassierung. Ich glaube drei solcher Terrassen unterscheiden zu können. Ich würde sie als Rückzugsterrassen deuten, beziehungsweise als gehoben. Faltungen, wie eine bei den Schottern von Bedʿ, sind nicht zu beobachten. Möglicherweise sind diese Terrassen nur auf Verschiedenheit des Materials zurückzuführen.

Fig. 29



Alle diese Bildungen bilden eine breite Ebene zwischen dem Meer und dem Gebirge. Dieses zieht mit einer Steilmauer parallel der Küstenlinie. Es ist ein Bruchrand. Die Terrasse der Schotter liegt auf einer tief versenkten Scholle. Noch tiefer liegt der Meeresboden. Es ist eine noch mehr versenkte Scholle.

Der oben beschriebene Bau läßt sich an der ganzen Küste bis Haḳl verfolgen. Interessant sind die zur Ebbezeit an der Küste auftretenden Quellen. Es ist das Süßwasser der Wadi, das aus dem Gebirge kommend, in der Ebbezeit als feines Geriesel aus dem Schotter hervorbricht und in das Meer fließt.

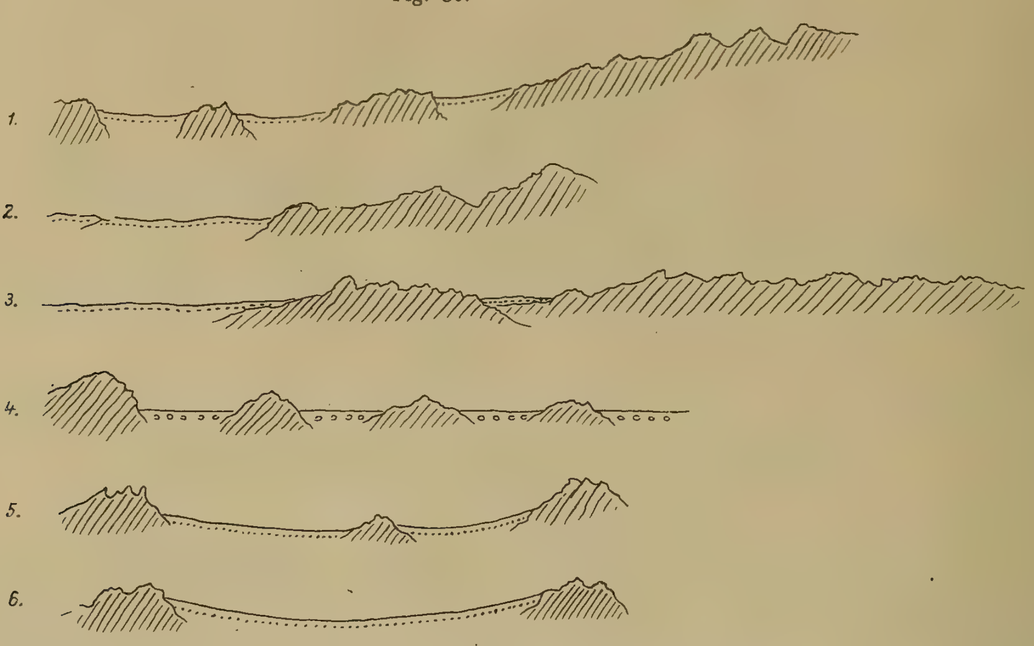
Bei Haḳl verlassen wir die Küste und wenden uns wieder dem Gebirge zu, folgen der Pilgerstraße bis Bed'. Dieser lange ganze Weg geht durch Grundgebirge. Es zeigt generelles Streichen W20°S. Es finden sich Granite, Amphibolite, Granitporphyre. Das hauptsächlichste Gestein ist der rote Granit.

Das Tal, in dem wir südwärts ziehen, ist sehr breit und macht den Eindruck, daß das Gebirge tief im Schotter ertrunken ist. Die Berge setzen mit steilen Wänden ab. Unvermittelt legen sich die Schotter an. Weiter auf unserem Wege wird die Ausfüllung der Täler durch Sande und Schotter eine noch auffälligere. Dort wo sich Wadi vereinigen, breitet sich eine weite Schotterebene aus, aus der inselgleich der Kamm hervorragt. Diese Verhältnisse sind in den folgenden Figuren wiedergegeben. (Fig. 30.)

Beim Ausgang des großen Tales (al-Abjaḳ) nach Bedʿ legen sich Schotter über das abradierte Grundgebirge. Es sind braune und braunrote Schichten, Sandsteine mit Diagonalschichtung. Es sind offenbar die gleichen Bildungen wie bei 'Aḳaba, nur sind sie hier fluviatil und dann liegen sie auf dem abradierten Grundgebirge und im Gebirge drinnen. Es sind also wahrscheinlich Fluß-, vielleicht auch Deltabildungen.

Die Schichten bei der Oase Bed' sind dagegen allem Anscheine nach schon marine Sedimente. Es sind wieder Schotter, Sande, Korallenbänke. Diese Bildungen sind alle stark gestört. Es ist eine

Fig. 30.



Art schwacher Faltenwellen mit Streichen N—S. Die aufgebrochenen Gewölbe blicken gegen Westen. Es lassen sich 3 Abteilungen unterscheiden:

zu oberst auf dem Gebirge Schotter,
darunter koralligene Kalke,
unten Sande und Schotter.

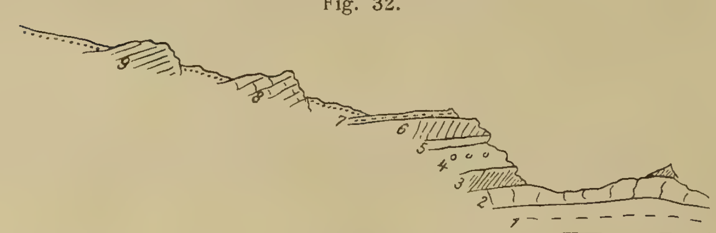
Fossilien sind in einzelnen Lagen zahlreich. Es sind Steinkerne und recht schlecht erhalten. Das wenige Material, das ich sammelte, ist infolge der schlechten Erhaltung für eine Bestimmung nicht geeignet.

Die folgenden Profile geben die Zusammensetzung und den Bau dieser Bildungen wieder.

Fig. 31.

1. Sande.
2. Braune Korallenkalke.
3. Grünliche Sande.
4. Verfestigte Sande.
5. Braune Korallenkalke.
6. Grünliche Sande.
7. Weiße Korallenkalke.
8. Schotter.

Fig. 32.



1. Rötlichbraune Sande.
2. Braune Korallenkalke.
3. Grober Schotter, an der Basis gelbe Mergel.
4. Sande mit Geröllen.
5. Schotter.
6. Rotbraune Sande.
7. Braune Kalke.
8. Weiße und braune Korallenkalke.
9. Grünliche Sande.

Fig. 33.

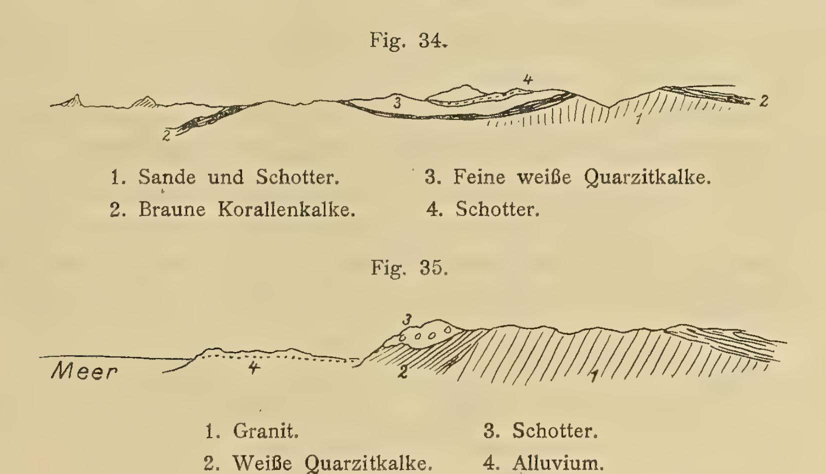


1. Graue bis rötliche Sande und Schotter, zirka 30 *m*.
2. Sande und feinere Schotter, zirka 20 *m*.
3. Braune Korallenkalke, zirka 20 *m* (Riffe).
4. Dünne Lagen von sandigem Material.
5. Korallenkalk (Riffe).
6. Lage von Sanden.
7. Brauner Korallenkalk mit Schotter.
8. Konglomerat mit vielen Bivaloen Steinkernen.
9. Feinere graue Sande.
10. Korallenkalk (Riffe).
11. Grünliche Sande und feinere Schotter.
12. Mergel.
13. (14., 15.) Weiße Korallenkalke (Riffe).
16. Schotter.

Die Ebene von der Oase Bedᶜ bis al-Hrajbe besteht aus dem abradierten Grundgebirge, darauf diese eben beschriebenen Bildungen. Weiter gegen Süden finden wir immer wieder einzelne Glieder dieser Schichtfolge. Aber auch das Grundgebirge wird darunter sichtbar. In demselben zeigen sich viele Gänge von basaltischem Material.

Über den Bau der Terrasse im Süden von Bedᶜ geben folgende Profile Aufschluß.

Fig. 34.



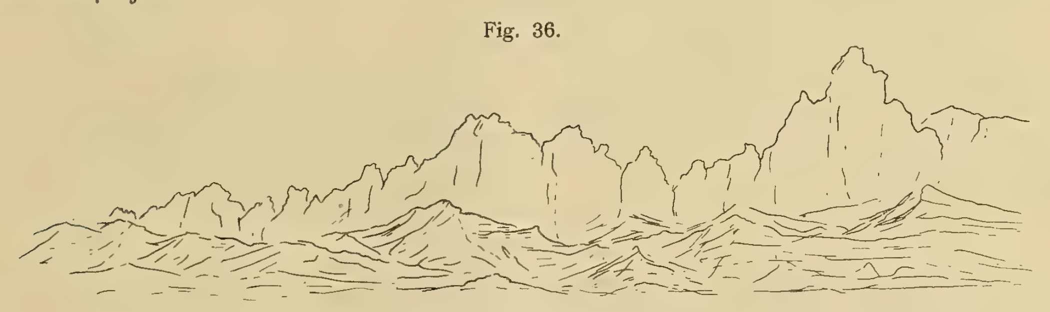
1. Sande und Schotter.
2. Braune Korallenkalke.
3. Feine weiße Quarzitkalke.
4. Schotter.

Fig. 35.

1. Granit.
2. Weiße Quarzitkalke.
3. Schotter.
4. Alluvium.

Ähnlich wie bei ᶜAḳaba das Süßwasser in Quellen am Strande zutage tritt, so kommt in diesen Gegenden hier das Süßwasser zutage. Wo das Grundgebirge zum Vorschein kommt, zeigt sich auch das Wasser, das unter dem Schotter auf dem undurchlässigen Grundgebirge am Wadi aus dem Gebirge herauskommt. Hier in den Oasen Bedᶜ und al-Malḳaṭa ist reichlich Wasser sichtbar. Das gleiche gilt auch von al-Ḫrajbe.

Fig. 36.



Der Abfall des Küstengebirges auf die Küstenebene, östlich von al-Ḫrajbe.

Von Bedᶜ bis al-Ḫrajbe hat man wieder freien Überblick über die Landschaft des Küstengebietes. Westlich das Meer, dann die breite Ebene. Im Osten die Steilmauer des Gebirges. Kühne Gipfel stellen sich ein. Diese Steilwand des Ostens ist der große Abbruch des Grabens des Roten Meeres.

Auf Bild 2, Tafel IV, sehen wir von Westen gegen Osten auf die Gipfel. Zwischen diese hindurch führt unser nächster Weg, über das Küstengebirge empor auf die Tafel in das Innere des Ḥeǧâz, zur Bahn (Tebûk). Die geologischen Verhältnisse dieses Landes werden im folgenden nun beschrieben.

Von al-Ḥrajbe bis Tebûk.

Auf dem Wege von der Oase al-Ḥrajbe nach Tebûk tritt anfangs das Grundgebirge im Küstengebirge bis über den Paß as-Sîk hervor, dann folgt ununterbrochen die Sandsteinzone.

Im Grundgebirge, das nördlich vom obigen Passe hohe Gipfelformen aufweist, finden sich wieder einheitliche große Zonen von rotem Granit. Daneben eine Reihe basischer Lager und Stöcke. Dioritische Gesteine finden sich. Das ganze Grundgebirge zeigt wieder stellenweise, sobald man die Höhe erreicht hat, die alte Peneplain. Die Sandsteinzone weist auf dem ganzen Wege die einförmige Fazies des Nubischen Sandsteines auf. Nur einmal fanden sich, bei Tebûk, weiße Sandsteine, die allenfalls als das Äquivalent der weißen Sandsteine von Ḥomejma angesehen werden können, sonst nirgends eine Andeutung der reichen Differenzierung, wie wir sie im Norden getroffen haben.

Wir kommen in das Gebiet der Wüstenfazies, der einheitlichen Zone von Sandsteinen, deren Altersbestimmung eine unsichere ist.

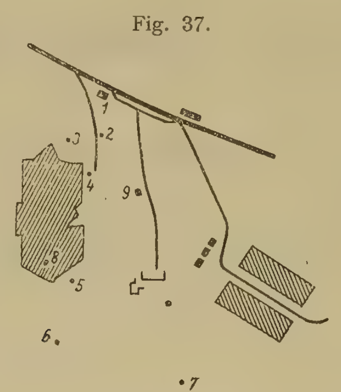
Aber es scheint mir doch als wahrscheinlich, daß der über dem oben erwähnten weißen Sandstein liegende Komplex das Äquivalent der Zenoman-Turon-Serie des Nordens wäre, um so mehr als diese weißen Sandsteine noch einmal, auf der Reise von Tebûk gegen Rwâfa, angetroffen wurden.

Wir kommen in die typische Wüstenentwicklung des nördlichen Ḥeǧâz.

Die basischen Lager im Granit von as-Sîk scheinen N—S laufende Intrusionen. An Streichrichtungen konnte im Grundgebirge die Richtung W gegen O beobachtet werden.

Im Boden von Tebûk sind die jüngsten Horizonte Schotter von 2—6 *m* Mächtigkeit. Es sind gröbere und feinere Schotter.

Fig. 37.



Plan von Tebûk.

1. Brunnen der Station, 28 *m* tief, ständig Wasser.
2. Zirka 15—20 *m* tief, oben 4 *m* Schotter, tiefer graugrünliche und rotbraune Mergelschiefer, wasserführend.
3. 4 *m* Schotter, darunter Wasser.
4. 4 *m* Schotter, darunter Wasser.
5. 5 *m* Schotter, kein Wasser.
6. Eingemauerter Brunnen, Wasser.
7. Wasser in 5 *m*.
8. Quelle von Tebûk. Der höchstgelegene Teil der Oase, aufquellendes Wasser.
9. Zugedeckt.

Die Sandsteinzone gliedert sich in Tebûk folgendermaßen:

Oben zirka 8 *m* kalkreicher, dichter fester Sandstein,
dichter, fester, kalkreicher, rötlicher, feiner Sandstein,
Zwischenlagen von mergeligem Material,
$^1/_4$ *m* starkes Schieferband mit fremden Einlagerungen (Blöcken).
Glimmerige rotbraune Mergelschiefer mit Wülsten.

Über das Alter dieser Schichten läßt sich zurzeit gar nichts Bestimmtes sagen. Ich würde glauben, daß es sich um höhere Kreidehorizonte handelt, die sich in Überlagerung der zenomanen weißen Sande befänden, die wir im Westen von Tebûk angetroffen.

Die Schichtfolge ist für die Wasserführung von Interesse, weil einzelne dieser Horizonte Wasser führen. Ich habe die verschiedenen Brunnenanlagen untersucht und werde hier nur im Auszug einiges mitteilen.

Auf beiliegender Skizze von Tebûk sind die Brunnenanlagen von Tebûk mit fortlaufenden Nummern versehen.

Wasser ist also reichlich vorhanden. Zweifellos dürften Bohrungen noch mehr Wasser schaffen. Die Quelle in der Oase fördert mit gewissem Druck das Wasser. Es kommt offenbar aus größerer Tiefe.

Von Tebûk bis Rwâfa.

Dieses Stück der Reise ist im allgemeinen charakterisiert durch Sandsteine, die die Unterlage für die Harra bilden. Die Ḥarra liegt südlich der Route und wird in einzelnen Ausläufern geschnitten. Die Basalte bilden feste Platten über dem Sandstein, der in der weiten Ebene az-Zâwijje weiße Sandsteine aufzeigt. Aber solche weiße Sandsteine finden sich weiter gegen Rwâfa in mehreren Lagen und so tauchen Zweifel auf, ob diese weissen Sandsteine tatsächlich die Fortsetzung der weissen Sandsteine von Ḥomejma sind.

Beim Brunnen Ǧdejjed kommen wir wieder in den Bereich des Grundgebirges.

Die Berge über der Ebene sind aus der Tafel der Ḥarra herausgeschnitten; sie sind nicht hoch, etwa 40—60 *m*.

Westlich von Tebûk bewegte man sich noch in den jüngsten Bildungen, dann in harten Mergelböden, die tennenartig sind. Es sind dies offenbar in der Regenzeit Wasserbecken. Diese wüsten Tennen weichen aber bald der Sandwüste, die von nun an an Eintönigkeit und Schauerlichkeit mit der Ḥarra wetteifert.

Sandsteine, weiß bis rot, kalkarm, dann wieder kalkreicher mit Wurmröhren, Mergel, Mergelschiefer, härteres dann wieder weicheres Material, phantastische Erosionsformen, wenig hohe Zeugenberge. So geht das in ermüdendem Einerlei fort.

Ich führe hier nur einige Profile an von der Gegend, wo die Ḥarra ihr Nordende erreicht und von uns zum erstenmal getroffen wurde.

Oben: 1. Basalt.
2. Wechsel von härteren und weicheren Mergelschiefern.
3. Harter, roter Sandstein.
4. Kieseliger Sandstein.

Oder ein anderes:

Oben: 1. Basalt, senkrecht geklüftet.
2. Schiefersandsteinlagen, 5 *m*.
3. Sandstein, Wurmröhren, Diagonalschichtung, 8 *m*.
4. Sandsteinschiefer, 15 *m*.
5. Sandstein, weiß, Wurmröhren.
6. Brauner Sandstein, Schiefereinlagen.

Bei Abu Sôr finden sich in größerer Ausdehnung weiße und rote Mergelschiefer. Die roten kommen in einer breiten, von Bergen umsäumten Hochebene vor. Es finden sich auch braune Sandsteine, dann Blöcke von schwarzen, dichten Quarziten, wie die Austernquarzite von Baṭn Ṛul, ferner weiße Mergel, wie etwa die senonen Mergel von al-Čabd. Aber die Fazies wechselt im Sandstein offenbar sehr rasch. Doch treten andrerseits die weißen Sandsteine mit Quarzgeröllen so typisch auf, daß man sie als Fortsetzung der Ḥomejmasandsteine ansprechen möchte. Über diesen Sandstein folgt

ein Lager von stark tonigem Sandstein und Mergelschiefer von dunkelroter, grüner und weißer Farbe. Die Basis für diese Schichtgruppe sind braunrote Sandsteine.

Bei Rwâfa wird die Nordseite von weißen Sandsteinen gebildet, der Süden dagegen von braunen. Die weißen Sandsteine erwecken wieder den Eindruck, daß sie an keinen Horizont gebunden sind.

Vor Rwâfa treten wir in die Ḥarra.

Von Rwâfa bis zum Wadi Ǧižel.

Dieser Weg ist charakterisiert durch fortwährendes, ermüdendes Auf- und Absteigen von der Basalttafel in die Wadi. So geht es von einer Tafelplatte auf die andere. Dieser Charakter dauert bis zum Berge Šejbân an. Dort ändert sich das Bild. Wir verlassen die Ḥarra, gehem zum Teil auf einer Sandebene nach Süden. Im Osten läuft N—S ungefähr ein Abstieg etwa 80 *m* hoch, von Sandstein von dunkler Farbe, oben von Basalt bedeckt. Im Westen über die Ebene sieht man auf das Granitgebirge, das man im Wadi Ǧizel erreicht.

Die rotbraunen eisenschüssigen Sandsteine zeigen an einer Stelle konglomeratische Einlagerungen. Das sind wahrscheinlich die echten Nubischen Sandsteine. Ob die lichteren und weißen Sandsteine jünger sind, Äquivalente der Oberkreide, ist nicht bestimmt zu sagen.

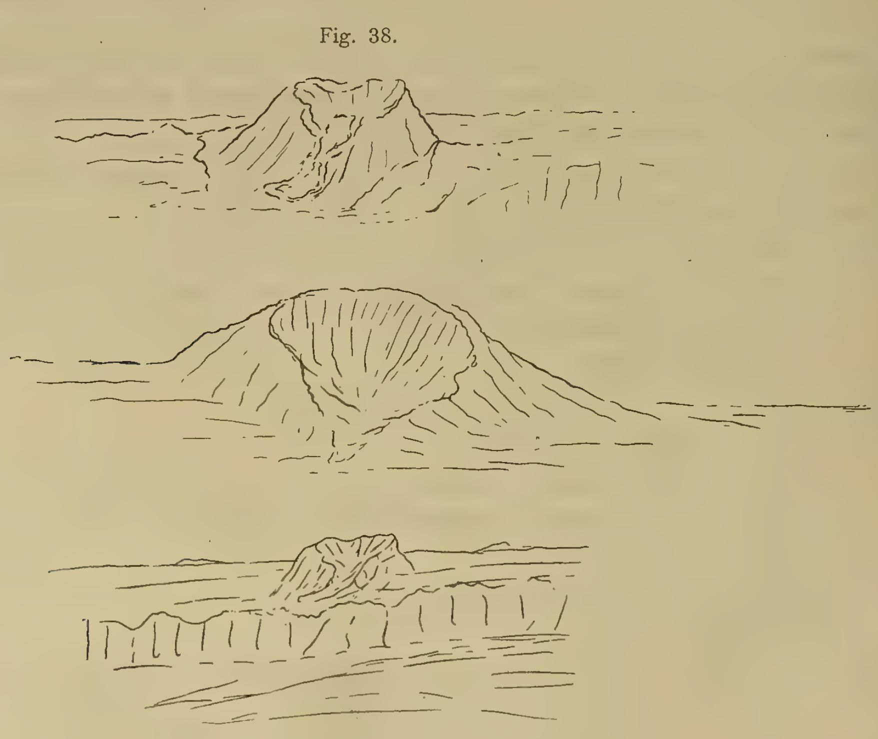
Die Basalte bilden eine Decke. In den Basalten sieht man große Sandsteinmassen schwimmen.

Die Basalte sind bisher nicht bearbeitet worden. Es sind meist Basalte mit Olivin.

Von Wadi Ǧizel nach Muʿaẓẓam (Eisenbahn).

Über dem Granit und den basischen Zwischenlagern folgt roter Sandstein. Die Täler sind wenig breit und der rote Sandstein bildet hohe Mauern.

Fig. 38.



Die Vulkangruppe des Ḥala-l-Bedr.

Dieser Charakter wird bald wieder von der Ḥarra abgelöst. Auf dem Wege zur Bahn verquert man über den Basalten, die nur mehr eine dünne Decke bilden, die jungen Vulkane.

Sie stehen in Art von Reihen, sie lassen sich im Norden und Süden unseres Weges verfolgen, meist etwa 100 *m* hoch. Zwischen ihnen schmale, dünne, ältere Basaltdecken. Über diesen die jungen Effusiva der Vulkane. Basaltische Lavaströme, Tuffe, Bomben, Spratzkegel, schwarze, rote Massen bilden ein wüstes schwer gangbares Chaos. Die Ströme erfüllen die Täler in den oberen Teilen.

In einem dieser Vulkane glaubt Prof. Musil den wahren Berg Sinai gefunden zu haben. Es ist der Vulkan al-Bedr. Skizzen dieser Vulkane finden sich in vorstehenden Figuren. Auf diese Sinaifrage wird noch näher eingegangen.

Von Muʿaẓẓam nach Tebûk.

Hier bewegen wir uns im Sandsteingebiet. Einzelne Ausläufer von Basaltdecken finden sich noch. Aber die Harra bleibt im ganzen westlich liegen. Unsere Route folgt im allgemeinen der Eisenbahn.

Es finden sich gelbliche Sandsteine mit roten Schiefereinlagen, dann wieder braune Sandsteine, schön geschichtet. Auf dem Wege treffen wir auch die Sandsteine mit den vielen Wurmröhren, die Auler Pascha auch erwähnt und die als Würmer Hiobs von den Arabern bezeichnet werden.

Diese Sandsteine möchte Blanckenhorn für Nubische (paläozoische) Sandsteine halten und glaubt die Wurmröhrensandsteine mit dem Skolithensandstein (im norddeutschen Diluvium als Blöcke) des Nordens vergleichen zu können (Kambrium). Welches Alter nun diesen Sandsteinen zukommt, kann ich nicht entscheiden.

Sicher ist, daß bald im Süden (bei el-ʿOla) das alte Grundgebirge hervorkommt. Dies wäre eine gewisse Grundlage für die Annahme, daß hier Nubische Sandsteine paläozoischen Alters vorlägen.

Auf dem Wege sieht man deutlich, wie sich das Plateau der Ḥarra gegen die Bahn niedersenkt. Der Ostrand, die Ḥarra, wird von Wadi zerteilt. Sie ist nicht hoch. An der Bahn sind die Einschnitte in die Tafel bis etwa 80 *m*.

---

3. Stratigraphie.

Fassen wir die Ergebnisse unserer Reise im Verein mit den Ergebnissen der Nachbarländer auf Grund der vorliegenden Literatur, dann auf Grund eigener Beobachtungen zusammen, so ergibt sich ungefähr folgendes Bild des stratigraphischen Aufbaues.

Das tiefste Glied bildet das Grundgebirge. Es kommt hauptsächlich in dem Küstengebirge heraus. Darauf liegt im Süden eine einförmige Sandsteinzone, überdeckt von Basaltdecken und Vulkanen.

Diese Entwicklung des Aufbaues des Ḥeǧâz wollen wir hier die Wüstenfazies nennen.

Sie ist vor allem charakterisiert durch die Wüstenfazies der Sedimentserie, die durch die einförmige, wenig differenzierte, ihrem Alter nach nicht sicher bestimmte Sandsteinserie des Nubischen Sandsteines gegeben ist. Die Schichtfolge enthält möglicherweise praekambrische, paläozoische, mesozoische, vielleicht sogar eozäne Gesteine in arider Fazies.

Dieses Gebiet des Ḥeǧâz und offenbar der größte Teil der arabischen Tafel steht lange Zeit unter dem Einfluß eines ariden Zyklus.

Anders der nördliche Teil, der wohl schon mit Recht mehr zu Arabia petraea gezählt werden muß.

Hier findet der Übergang der Wüstenfazies in die syrische Fazies statt, jene Fazies, die in ihrem Aufbau zum großen Teil nur aus mesozoischen Sedimenten besteht, und zwar meistenteils aus echt marinen (epikontinentalen) Ablagerungen. Wenn wir von dem Nubischen Sandstein, der der Unter-

kreide zugerechnet wird, absehen, so ist die ganze Schichttafel Syriens bis zu den jungen Schottern und den Basalteruptionen aus marinen Sedimenten der Oberkreide und des Tertiär zusammengesetzt. Unter diesen spielen die mächtigen Libanonkalke im Aufbaue, in der Konfiguration des Landes die hervorragendste Rolle.

Die petr ä ische Fazies, wie wir die Entwicklung des Aufbaues von Arabia petraea nennen wollen, zeigt nun nicht mehr jene Kalkmauern des Turon. Dafür stellen sich große Massen von Sandsteinen und Quarziten und ähnlichen Gesteinen ein, die den Eindruck erwecken, als lägen in ihnen Dünen vor, die auf ihrer Wanderung in die See vorgetrieben wurden. Die peträische Fazies ist das Grenzgebiet zwischen dem ariden Zyklus des Ḥeğâzlandes und dem nördlich davon liegenden Meeresgebiet. Einmal drang die Wüste weiter nach Norden vor, dann wieder folgte eine Transgression des Meeres in das Wüstengebiet. So ist aus dem Streite der Transgression der Wüste und der des Meeres die petrâische Fazies, besonders des Mesozoikum entstanden.

Diese Erkenntnis ist geologisch von Wichtigkeit und gibt damit dem Ḥeğâz und seinem nördlichen Vorlande seine klare genetische Verbindung.

Damit haben wir die Grundlagen des Aufbaues gezeichnet. Dazu kommen noch jüngere Glieder. Das sind vor allem die vulkanischen Erscheinungen und die Bildungen, die mit dem Einbruch des Roten Meeres, mit der Bildung der Senke des Golfes von ʿAḳâba und seiner nördlichen Fortsetzung, des Wadi ʿAraba zusammenhängen.

Wir wollen uns nun mit dem Aufbau der petr ä ischen Fazies beschäftigen und ihre Zusammensetzung in den wesentlichen Zügen erläutern.

Die peträische Fazies.

1. Das Grundgebirge.

Das Grundgebirge geht, wie gesagt, durch beide Entwicklungen durch, soll aber hier im Bereiche der petrâischen Fazies besprochen werden.

Auf unserer Reise konnten nicht viele Beobachtungen über die Zusammensetzung, den Aufbau des Grundgebirges gemacht werden. Viel genauere Aufnahmen liegen den Karten von der Sinaihalbinsel von englischer Seite zugrunde. Das Studium dieser Arbeiten hat mir jedenfalls die Überzeugung gebracht, daß ein wesentlicher Unterschied im Aufbau des Grundgebirges zwischen der Sinaihalbinsel und dem Ḥeğâz nicht besteht.

Grundgebirge. Es tritt im Küstengebirge besonders hervor. Das Gros bildet darin roter Granit. Daneben finden sich auch Granite von hellerem Aussehen. Porphyrartige Typen stellen sich ein. Manche der Granite erinnern an Erzgebirgsgranit. Eine reiche Differenzierung ist vorhanden. Eine Reihe von Gangformationen, vielleicht verschiedenen Alters sind da. Aplitische Gesteine finden sich, dann auch Porphyrite.

Die Granite führen wieder nach der anderen Seite zu syenitischen Gesteinen. Manche davon erinnern an die dunklen nordischen Syenite.

Dioritische Gesteine finden sich in großen Stöcken. Zahlreich sind die jüngeren Gänge. Ich glaube 3 Generationen von Gängen unterscheiden zu können.

An kristallinen Schiefern konnte ich nichts Bestimmtes eruieren. Anstehend habe ich nirgends Schiefergesteine gefunden. Aber ich sah öfter auf gewisse Entfernung schichtiges Material in Faltung zwischen Eruptivgesteinen eingelagert.

Im Streichen des alten Grundgebirges fand ich mehrmals Richtungen von Westen nach Osten mit Abbiegungen gegen Norden.

Das Grundgebirge ist vollkommen eingeebnet.

Praekambrium. Blanckenhorn rechnet hierher von der Ostseite des Wadi Araba einen Komplex von halb geschichteten, halb vulkanischen Lagen, der vom Kambrium direkt diskordant überlagert wird. Man begegnet ihm zuerst im Osten der Oase Ghor-es-Safi, nahe dem SO-Eck des Toten Meeres. Es ist ein bunter Wechsel von dunkelvioletter Arkose mit viel Feldspat und Glimmer, grobem, festem Konglomerat, 1 *m* dicken, meist wohlgerundeten Blöcken von Gneis, Porphyr. Das Ganze ist durchschwärmt von Gängen. Die Lagerung ist vorherrschend horizontal.

Ich habe derartige Gesteine nicht auffinden können.

Kambrium. Ein Komplex von zirka 300 *m* Mächtigkeit von roten Sandsteinen, dolomitischem Kalk, Kieselkalk, Quarzit mit Ptychoparia. Mittleres und oberes Kambrium.

Dieses Vorkommen findet sich zuletzt bei Petra, und Blanckenhorn vermutet eine weitere Fortsetzung dieses Horizontes nach Süden. Wo ich in der Region von Ḥomejma die auf dem Grundgebirge auflagernde Sandsteinzone beobachten konnte, habe ich keine bestimmten Anhaltspunkte über das Alter der Schichten mangels Fossilien erhalten können. Blanckenhorn möchte hierher auch die von Auler Pascha bei der Station Muṣṭabṛa (*km* 949) gefundenen Sandsteine mit Wurmröhren, die von den Arabern als »Dud Ejub«, Würmer Hiobs, bezeichnet werden, stellen. Ich glaube, diese Annahme hat gar keinen Boden, da solche Wurmröhren in allen Horizonten des Nubischen Sandsteines zu finden sind und eine direkte Ähnlichkeit mit dem Skolithensandstein nicht besteht.

Silur. Bei Sahr-ul-Ghul sind in Sandsteinen schwarze, bituminöse Kieselschiefer eingeschaltet, die schlecht erhaltene Grapholithen führen, die Blanckenhorn für Diplograptus sp. hält. Das würde nach Blanckenhorn für Obersilur sprechen.

In Ostägypten, im Wadi Araba, führt der untere Teil des Nubischen Sandsteines Lepidodendron- und Sigillarienreste und eine marine Fauna (in Ägypten von oberkarbonischem, am Sinai von unterkarbonischem Alter). So wäre es denkbar, daß auch im Ḥeğâz ein Teil der Sandsteine etwa karbonen Alters wäre. Auch im Südwesten der Sinaihalbinsel finden sich karbone Sandsteine.

Nubischer Sandstein. Diese Vorkommen sind wichtige Entdeckungen von Blanckenhorn im Bereiche des Nubischen Sandsteines und zeigen, daß diese Sandsteine jedenfalls alte Komplexe enthalten. Es ist sehr schwierig, nun solche ältere Schichten von jüngeren zu trennen. Dort, wo keine Fossilien bekannt geworden sind, bleibt nichts übrig, als diese mannigfaltigen Sandstein-Schiefer-Mergelserien als Nubische Sandsteine zusammenzufassen. Dabei muß man sich bewußt sein, daß auch alte Komplexe in dieser Serie enthalten sind.

Die jüngere Gruppe des Nubischen Sandsteines bilden die verschiedenartigen ariden Bildungen, die mit dem weißen Sandstein von Ḥomejma schließen und die die Basis bilden für das Zenoman.

Damit kommen wir in den Bereich mariner Ablagerungen.

Zenoman. Hierher gehören die tieferen Lagen des Absturzes von al-Batra. Nördlich von Ḥomejma bis zum Brunnen Burḳa ziehen sich die zenomanen Ablagerungen. Unten sind es rote, grüne Mergel, reich an Austern, *Ostrea olisoponensis,* oben kommen dicke Kalkbänke.

Turon. Hierher gehören die Gesteine von al-Batra. Es sind Wechselfolgen von Sandsteinen, Schiefern, Quarziten. Keine Fossilien im Ḥeğâz bekannt.

Senon. Quarzite mit *Ostrea Nicaisei,* dann Mergel, Schiefer, Sandsteine, vor allem aber die auffälligen weißen Mergel mit Hornsteinen, die in das oberste Senon gehören und allmählich in das Eozän übergehen.

Eozän. Hauptsächlich Nummulitenkalk mit Hornsteinen in den tieferen Lagen. Auf der Sinaihalbinsel ist Ober-, Mittel- und Untereozän bekannt.

Damit schließt die petraische Fazies. Sie hat im Nubischen Sandstein marine und aride Typen, im Zenoman marine. Im Turon stellt sich ein Wechsel ein von marin-arider Sedimentierung. Im Senon bis Eozän herrschen dann wieder marine Einflüsse. Von dieser Zeit an wird das petraische Gebiet Festland.

Im Gebiete der Wüstenfazies des südlicheren Teiles findet sich nur eine Sandsteinfazies, die ihrem Alter nach nicht recht bekannt ist.

Sicherlich gehört die ganze Partie der Sandsteine des Küstengebirges östlich von der Oase al-Ḥrajbe bis zu den weißen Sandsteinen westlich von Tebûk, dann den weißen Sandsteinen der Ebene von az-Zâwijje den vorkretazeischen Nubischen Sandsteinen zu. Anders aber ist es mit dem Komplex von Sandsteinen, Schiefern etc., welche die Basalte unterlagern. Die könnten turonen, eventuell senonen, oder vielleicht sogar noch jüngeren Alters sein, aber, wie gesagt, es läßt sich mangels an Fossilien diese Frage zurzeit nicht beantworten.

Blanckenhorn scheint hier für älteres, paläozoisches Alter der Sandsteine eintreten zu wollen.

Pliozän-Diluvium.

An die Grenze von Tertiär und Diluvium ist nach Blanckenhorn der Einbruch des Roten Meeres zu setzen, im Zusammenhang damit auch die Graben von ʿAḳaba, vom Wadi ʿAraba.

Im Zusammenhang mit diesen großen Dislokationen finden sich Konglomerate, Schotter und sandige Bildungen auf dem Festland und marin-pluviatile Sedimente im Golf von ʿAḳaba.

Diese Bildungen, die wir auf der östlichen Seite des Golfes von ʿAḳaba finden, liegen auch auf der westlichen. Sie ziehen als Bänder entlang des Golfes.

Zum Teil liegen unter ihnen noch tiefere Bildungen, die Abkömmlinge sind der miozänen, marinen Bedeckung aus dem Roten Meergebiet. So werden solche miozäne Ablagerungen von Maḳna beschrieben.

Die gestörten Ablagerungen von Schottern, Konglomeraten, Korallriffen, Sanden, die wir vorhergehend von Bed' beschrieben haben, können wir hier nicht sicher horizontieren.

Es sind dieselben Bildungen, wie sie von der Sinaihalbinsel beschrieben werden.

Auf beiden Seiten des Golfes finden sich die zwei Lagen gehobener Riffe.

Hume sagt davon, daß die zwei gehobenen Riffe nicht älter zu sein scheinen als Pleistozän.

Nach Blanckenhorn gehört das ältere Korallriff in das älteste Diluvium, und zwar sollen sie gleichaltrig sein mit der Melanopsisstufe von Syrien, beziehungsweise mit der ersten Eiszeit.

Ungefähr in das erste Interglazial würde nach Blanckenhorn die Hebung der Riffe fallen.

Die Schotter auf dem Grundgebirge bei Bedʿ, ferner die Schotter nördlich von Ḥomejma, gehören wie die Schotter des Antilibanon zu einer einheitlichen Schotterbedeckung, die über die Peneplain sich weithin ausbreitete, als die Störungen begannen. Sie scheinen in der Tat O—W laufenden Flußlinien angehört zu haben, die später wieder in N—S laufende umgewandelt wurden.

Diese älteren Schotter nehmen eine ähnliche Stellung ein, wie die alten Deckenschotter. Nur sind diese Schotter im arabisch-syrischen Gebiet heftig gestört.

Jüngere, ungestörte Schotter finden wir dann noch in den Terrassenschottern der Wadi. Ich möchte eine Hoch- und eine Niederterrasse trennen.

Basaltdecken.

Westlich von Tebûk beginnt der Bereich der zusammenhängenden Basaltgebiete, der Ḥarra. Sie reichen im Westen nicht bis an das Grundgebirge. Musil hat das Gebiet der Basaltdecken auf seiner Karte gut markiert.

Die Basalte sind feste dichte Gesteine, die im Norden größere Mächtigkeit haben als im Süden. Es sind Basalte mit Olivin. Es finden sich auch lockere Mandelbasalte mit Zeolithfüllungen. Die Gesteine sind im wesentlichen dieselben Basalte wie in Syrien.

Es waren leichtflüssige Massen, in denen sogar größere Sandsteinpartien aufgenommen und verflößt worden sind.

Das Alter dieser Basaltdecken läßt sich nicht direkt bestimmen. Blanckenhorn stellt sie in das älteste Diluvium (Melanopsisstufe, beziehungsweise erste Eiszeit).

Vulkane.

Das sind wohl die jüngsten Bildungen von geologischer Bedeutung. Sie finden sich im südlichen Teil der Ḥarra. Es wurden auf der Reise bei 17 Kegel gezählt. Sie sind etwa 100 *m* hoch, gut erhalten, von basaltischen Lavaströmen und -decken und tuffartigen Bildungen umgeben. Bomben liegen zu Füßen der Kegel. Lavaströme ziehen in die flachen Wadi hinab. Spratzkegel sitzen ihnen auf. Die Stirn des zähflüssigen basaltischen Magmaergusses ist immer recht gut erhalten.

Sie fallen zweifellos in historische Zeit. Weiter im Süden fanden in der Tat noch in historischer Zeit vulkanische Eruptionen statt.

Dies alles ist für die Sinaifrage von Bedeutung. Auf diese wird später noch eingegangen.

4. Tektonik.

Was nun die Hauptzüge der Tektonik anbelangt, so ist wohl im wesentlichen nichts Neues den Ausführungen zuzufügen, wie sie E. Suess im »Antlitz der Erde« über diesen Teil gegeben hat. Blanckenhorn hat die nähere Genetik dieser Bruchstruktur hinsichtlich der Zeit genauer kennen gelehrt. Ich schließe mich hier diesen Ausführungen Blanckenhorn's an.

Bezüglich der Mechanik der Grabentektonik sind verschiedene Erklärungsversuche da. Suess dachte an ein Zerreißen des Planeten längs der Linie der ostafrikanischen Gräben, ein Zerreißen infolge der Erstarrung. Andrerseits stellen sich aber gerade wieder die entgegengesetzten Anschauungen ein, die in den großen Brüchen Zusammenstauungen sehen, in denen die Gräben die Rolle von Scheitelbrüchen in großen antiklinalen Aufwölbungen bilden. Gegen die Zerreißungstheorie von Suess sprechen die Überschiebungen in den ostafrikanischen Gräben, wie sie von C. Uhlig nachgewiesen wurden. Solche Überschiebungen finden sich auch in anderen Grabengebieten, so im Rheingraben.

Man sieht, die Erscheinung der ostafrikanischen Gräben als mechanisches Phänomen ist nicht so einfach und die Deutung als Zerrungserscheinung in der Erstarrung des Planeten nicht ganz einwandfrei.

Wie bei Uhlig, so werden auch bei Abendanon[1] Großfalten der Erdrinde von Spalten zerrissen und eine Deutung in diesem Sinne scheint ebensosehr der Beachtung wert als die Deutung von Suess.

Bei Abendanon findet sich auch die Meinung vertreten, in dem Roten Meer ein ertrunkenes Tal zu sehen.

Es ist hier nicht der Platz, auf diese Theorien weiter einzugehen, es scheint mir neben der Zerreißungstheorie auch die Vorstellung der Entstehung der großen Gräben im Sinne von Scheitelrissen in großen Antiklinen möglich, um so mehr, als ich selbst an die Möglichkeit dachte, besonders, wenn man sieht, wie die Peneplain des Grundgebirges gegen das Rote Meer zu auf arabischer Seite eine gewisse Aufwölbung zeigt.

Sehen wir von diesen theoretischen Möglichkeiten ab und betrachten wir den allgemeinen Bau, so haben wir in der Tat uns der von Suess schon entworfenen Vorstellung anzuschließen.

Im Graben des Wadi ʿAraba, inder Fortsetzung des Golfes von ʿAḳaba, weiter im Roten Meere liegt eine gewaltige Versenkung eines schmalen Stückes Erdrinde vor uns, derart, daß dieser Graben an einer Reihe von Treppenbrüchen eingesunken ist.

Diese Treppen sind auf der arabischen Seite relativ schmal. Wir haben sie verfolgt in den drei bis vier Schollen, die längs des Wadi Merṣeʾd südwärts ziehen. Ihre Anfänge konnten wir unterhalb des Steilabsturzes von al Batra konstatieren.

---

[1] E. C. Abendanon, Die Großfalten der Erdrinde, Leiden 1914.

Im Vergleich zu diesen Grabenbrüchen ist die Hauptmasse der arabischen Tafel stehen geblieben. Sie blieb eine ruhige Scholle.

Nach Blanckenhorn wäre die zeitliche Folge der Geschehnisse folgende:

Pliozän. Messinien, pontische oder Congerienstufe. I. Phase der syrisch-arabischen Gebirgsbewegung. Hebung des Festlandes, Erhöhung des Gefälles. Große Erosionsphase der Flüsse.

In den tieferen Teilen des Suezgolfes und des Roten Meeres salzige Reliktenseen mit Resten der mittelmiozänen Fauna.

Astien und Plaisancien, Eintritt des unteren Mittelmeeres ins Fajûmtal.

Zweite Phase der arabisch-syrischen Gebirgsbewegung. Einbrüche an der heutigen Küste Arabiens.

Diluvium.

1. Güns-Eiszeit. Älteste Korallenriffe des Roten Meeres mit Pecten Vaselli. Gestörte Konglomerate und Mergelkalke mit ausgestorbenen Melanopsiden etc. im Wadi el-ʿAraba. Konglomerate in der Bekaʿa und im Antilibanon.

1. Interglazial. Dritte oder Hauptphase der Gebirgsbewegungen auf arabisch-syrischem Boden. Hebung, schwache Haltung, Zerrung, Zerreißungen, Einbrüche. Kurze Trockenperiode mit Wüstenklima.

Grabenförmige Vorwürfe im ganzen Gebiet des Roten Meeres. Hebung der ältesten Korallenriffe und Senkung der Grabensohle. Eruptionen des Hauran, Djolan und der arabischen Ḫarra.

2. (Mindel)-Eiszeit. Höhepunkt der Pluvialperiode. Hochterrassenbildung.

2. Interglazial. Lange Trockenperiode.

Mitteldiluvium.

3. Rißeiszeit. Jüngere fossile Korallenriffe mit Uferterrassen am Suezgolf bis zu 25 *m* Höhe. Mittelterrassen.

3. Interglazial. Beginn des Halbwüsten- oder Steppenklimas.

Oberes Diluvium.

4. Würmeiszeit. Niederterrasse.

4. Postglazial. »

Inwieweit diese Chronologie von Blanckenhorn tatsächlich den Geschehnissen entspricht, vermag ich nicht zu beurteilen, da ich in die feinere Genetik dieser Gebiete zu wenig Einblick habe.

Maßgebend sind in dieser Hinsicht vor allem die jungen Bildungen des Pliozän und Diluvium. Ich muß deshalb diesbezüglich auf die Zusammenfassungen Blanckenhorns verweisen und vor allem auch auf Arbeiten von W. F. Hume und T. Barron über die Geologie der Sinaihalbinsel.

Was an Bruchlinien vorhanden ist, konnte nur im Gebiet von Ḫomejma, dann am Golfe aufgenommen werden. Ob im Innern Brüche vorhanden sind, konnte nicht konstatiert werden. Man möchte vor allem glauben, daß die Hauptwasserscheide tektonischen Ursprunges ist, indem hier diese Aufwölbung mit großer Spannweite vielleicht die Erscheinung am ehesten erklären würde. Ein steilerer Abfall nach Westen belebte die Erosion und so kam es zur Anlage des großen Beckens längs der Eisenbahn bis Tebûk.

Der Abfall der großen Aufwölbung gegen Osten ist ein allmählicher.

Ob der Steilabstieg des Hochplateaus von Maʿân tektonisch ist, ist nicht direkt zu beobachten, scheint aber wahrscheinlich.

Im letzten werden die abflußlosen Wannen von al-Ǧafar, von al-Mdawwara, von Tebûk wohl tektonischen Erscheinungen zugrunde liegen.

Der einfache Tafelbau des nördlichen Ḥeǧâz ist in Profilen der Tafel II wiedergegeben.

---

5. Allgemeine Morphologie.

Es sollen hier nur die allgemeinen morphologischen Züge des Ḥeǧâz, soweit sie mir bekannt geworden sind, dargestellt werden.

Morphologisch können wir folgende Gebiete scheiden:

1. Das Hochplateau von Maᶜân.
2. Die Küstenregion.
3. Die Region der Küstengebirge.
4. Das innere Wüstengebiet.

1. Das Hochplateau von Maᶜân.

Das Hochplateau von Maᶜân ist die Fortsetzung der syrischen Tafel nach Süden hinein. Dieses Hochplateau von Maᶜân bildet eine Art flacher Wanne mit dem tiefsten Teil der Senke al-Ǧafar, die nach Norden und Osten flach fortsetzt, ausklingt, die aber nach Süden und Westen zu in ihren Rändern aufgebogen ist. Zugleich setzen die Ränder nach außen hin recht steil ab. Mauerngleiche Abstürze stellen sich ein. Dieser Steilabsturz läßt sich von al-Čabd in einem schwach konvexen Bogen gegen Westen hin bis in das Tal von Ḥomejma verfolgen, hier vermischt er sich mit dem Steilabsturz des Wadi ᶜAraba, so daß etwa im Gebiet von Petra der Abstieg vom Plateau in die Tiefe des Wadi ᶜAraba ein in gewissem Sinne ununterbrochener ist. Die Verhältnisse sind im allgemeinen von hier an dieselben, wie sie weiterhin für die Abgrenzung des Wadi ᶜAraba und der Plateaugebiete zu beiden Seiten des palästinensischen Grabens herrschend sind.

Das Plateau von Maᶜân liegt in Maᶜân selbst 1074 *m* hoch, senkt sich von hier langsam gegen al Ǧafar. Jedenfalls sind die Gefällsverhältnisse mancher Wadi besonders im Teil unserer Route so gering, daß man an Ort und Stelle in Verlegenheit käme, zu sagen, nach welcher Richtung hin wohl hier das Wasser fließen mag. Weiter gegen den Steilrand des Südens zu werden die Einschnitte der Wadi tiefer. In Maᶜân und Umgebung halten sich die Wadieinschnitte im Rahmen weniger Meter, immerhin aber treten sie mit ihren Schottern, mit ihren Terrassen klar in Erscheinung.

Morphologisch repräsentiert das Plateau von Maᶜân wohl eine Fastebene, die nach dem Steilrand zu offenbar aufgebogen ist, nach Norden und Osten zu aber die mehr horizontale Lage beibehalten hat. Die Peneplain ist jedenfalls in jüngster Zeit belebt worden. Die Peneplain des Hochplateaus von Maᶜân ist nichts anderes als ein Stück der großen Peneplain, die über die syrische Tafel dahinging, die bis in die Grenze von Miopliozän hinein erhalten geblieben ist. Mit der Bildung der Schotter, die sich überall in unseren Gebieten nachweisen lassen, beginnt die Dislozierung der Fastebene. Diese geht jedenfalls bis in das ältere Tertiär zurück. Das Eozän ist wieder marin. Dies ist die untere Grenze für die Fastebene.

Sie ist also im allgemeinen mitteltertiären Alters. Daß man es hier mit einer Fastebene zu tun hat, geht aus den ganzen Verhältnissen, wie sie in Syrien herrschen, hervor. Diesbezüglich bestehen bereits auch für den nördlicheren Teil eingehendere morphologische Studien, auf die wir hier aber nicht weiter eingehen können.

Wir wollen hier nur festhalten, daß man es im Hochplateau von Maᶜân mit einer mitteltertiären Fastebene zu tun hat, die ein Teil der syrischen Peneplain ist und die hier wie dort an der miopliozänen Grenze in einen neuen Zyklus eingetreten und neuerdings belebt worden ist.

Diese Neubelebung liegt im Gebiet von Maᶜân selbst in den Anfängen, das heißt, es ist die Fastebene überall deutlich zu erkennen, ihr Charakter nicht besonders verwischt. Äußerlich, sozusagen,

finden sich auf der Fastebene kleine Differenzierungen, Modifikationen in der Ebenheit, das sind die Wadi und die Zeugenberge. Diese wechseln mit breiteren flachen wannenartigen Feldern.

Das sind die drei Hauptkleinformen in der Fastebene.

Die Gesteine, die diese Fastebene zusammensetzen, sind eozänen und oberkretazischen Alters. Es sind eozäne Kalke, senone Mergel, wahrscheinlich turone Mergel und Sandsteine. Der Oberkreide ist ein großer Reichtum an Feuersteinen eigen. Diese setzen der Verwitterung den größten Widerstand entgegen. Während die weicheren Gesteine fortgeführt werden, zerstört werden, bleiben die Feuersteine übrig und sammeln sich in Wannen und Becken zu förmlichen Meeren an, die für die Phänomene der Fata Morgana einen besonders günstigen Boden bilden.

So bildet sich die Steinwüste heraus, die Ḥamâd, die stellenweise wieder von mehr mergeligen sandigen Räumen abgelöst werden. Diese bilden tennenartige, glatte, gescheuerte Böden von Lehm und Mergel.

Diese Verhältnisse finden sich in Senken, die zeitweise von Wässern gefüllt werden. Diese Tennenböden führen auch die Bezeichnung Chabari.

Sie sind aber nicht gerade ein bezeichnender Bestandteil der Ḥamad, denn sie finden sich auch in der Sandsteinwüste, dem Nefûd.

Der Typus der Sandwüste findet sich natürlich auch in der Ḥamad. Er tritt aber zurück oder findet sich in den südlichen Gebieten des Plateau von Maʿân, sozusagen im Übergangsgebiet gegen das Nefûd, dem Typus, den wir dann im südlichen Ḥeğâz, im Innern des Landes finden, freilich noch nicht in der schaurig-großartigen Entwicklung, wie im eigentlichen Nefûd Innerarabiens.

Der Steilrand tritt in unserem Gebiete bei al-Čabd klar in Erscheinung, sie ist offenbar hier nur die Fortsetzung eines Steilrandes, der weit nach Osten hin sich gegen das Nefûd zu fortsetzt, der auch von Doughti weiter im Osten beschrieben wird.

Bei al-Čabd liegt der obere Rand etwa in 1000 *m* Meereshöhe. Der Absturz selbst liegt innerhalb 100 bis 200 *m* Höhe. Er ist ziemlich steilrandig. Natürlich löst sich der Rand gegen das tiefere Land zu infolge der rückgreifenden Erosion des tieferliegenden Teiles in einzelne Kulissen auf. Im ganzen macht er aber den Eindruck einer einheitlichen, weithin verfolgbaren Mauer, einer scharfen Grenze zwischen dem tieferliegenden inneren Teil des Ḥeğâz und dem Hochplateau von Maʿân.

Oben die Steinwüste, unten die Landschaft unter der Herrschaft der Dünen, der reinen Wüstentektonik, mit ihren Zeugenbergen, mit ihren phantastischen Farben, ihrem Sandmeer usw.

Der Gegensatz ist ein sehr scharfer und eindrucksvoller, morphologisch ist der Gegensatz auf dem Schema, Fig. 8, wiedergegeben.

Der Steilrand setzt westwärts geradlinig fort. Wir folgten auf unserer Reise diesem Steilrand bis al-Batra. Von hier stiegen wir dann zur Tiefe des Tales von Ḥomejma ab.

Dort, wo die Bahn bei Baṭn Ṛul in Serpentinen den Steilhang hinabsteigt, um in der Niederung wieder horizontal weiter zu laufen, ist der Absturz — Baṭn Ṛul liegt 1125, Wadi ar-Ratam, die Station an der Sohle des Absturzes, liegt 993 *m* — 132 *m*. Er vergrößert sich aber gegen Westen bedeutend, da der obere Rand immer höher steigt. So liegt al-Batra 1576 *m*, andere Höhen nehmen 1621 *m*, noch weiter nördlich, gegen Delâia zu, finden sich Höhen mit 1657 und 1674 *m*. Der Talboden von Ḥomejma dagegen liegt in 1004 *m* Höhe. Hier ist also der Absturz über 600 *m* hoch.

Von diesem Höhenrücken ergibt sich ein klarer Einblick in das Land. Gegen Maʿân zu die sanft abfallende Ebene, die Ḥamad, mit ihrem Gerinne nicht so den Charakter einer Wüste zeigend. Nach Süden zu ein typisches Wüstenbild, mit bunten Farben, aber hier, im Gegensatz zum Osten, zum Maẓlûm, der Niederung zu Füßen von al-Čabd, hohe Gebirge von Zeugenlandschaftstypus, aber in vielen Klötzen nebeneinander, tiefe Täler dazwischen. So entsteht der Eindruck eines Gebirges. Dieses Gebirge zeigt eine steilere Seite gegen die Niederung des Westens, fällt flacher ab gegen Osten.

Dies hängt natürlich mit der rückschreitenden Erosion zusammen, die von Westen her, von der Senke des ʿaḳabaischen Golfes, immer tiefer in den Rumpf des Landes einschneidet.

Ich glaube damit eine kurze Charakteristik des Hochplateaus von Maʿân gegeben zu haben und wende mich nun der Küstenregion zu.

2. Die Küstenregion.

Es ist eine relativ schmale Zone, die hierher gerechnet wird, vor allem jene schmale Terrasse, die sich zwischen dem Meere und dem Steilabsturz des Küstengebirges einstellt. Tiḥama heißt weiter im Süden dieser Küstenstrich des Roten Meeres.

Dieser Terrassenvorbau findet sich auch im Golf von ʿAḳaba. Auf der Westseite des Golfes erlangt er nicht dieselbe morphologische Bedeutung wie auf der Ostseite. Tektonisch ist er nichts anderes als eben ein Teil des Grabens des Roten Meeres und des Golfes von ʿAḳaba.

Morphologisch ist die Abgrenzung eine scharfe. Auf der einen Seite das Meer, auf der anderen Seite die Steilmauern des Gebirges. Der Absturz ist stellenweise fast eine einzige ungegliederte Wand, der zum Beispiel östlich von al-Ḫrajbe in aller Schärfe hervortritt und an die 1000 *m* Höhe mißt. Stellenweise tritt das Gebirge an die Küste heran. Dann verengt sich die Küstenterrasse. Bei ʿAḳaba hat sie etwa 1 *km* Breite, bei al-Ḫrajbe wird sie bedeutend breiter, mißt 10 *km*, nördlich davon aber noch mehr.

Die Küstenregion bildet eine mehr oder weniger gegen das Gebirge ansteigende, in sich selbst wieder in einzelne kleine Terrassen und Stufen aufgelöste Terrasse, deren Untergrund entweder vom Grundgebirge oder von den darauf liegenden pliozänen Sanden, Schottern und Korallenstöcken gebildet wird. Mag im Detail eine Unterterrassierung stattfinden, im allgemeinen erscheint die Tiḥama als eine Ebenheit.

Die Küstenregion beherbergt die Mündungen der Wadi. Diese führen alle in den Tiefen ihrer Schotter süßes Wasser. Dieses kann und wird zum Teil gehoben und verwendet und gibt so die Grundlage für die relativ zahlreichen Siedlungen längs der Küste. Die größeren Orte hier liegen alle an den Wadimündungen und beziehen das Wasser aus dem Grundwasserstrom der Wadi, der überall vorhanden ist und der zur Zeit der Ebbe, zum Beispiel bei ʿAḳaba, bei seinem Einmünden in den Golf beobachtet werden kann. In der Flutzeit wird durch das dichtere Meerwasser das leichtere Wasser der Wadi aufgestaut.

Dieses Verhalten der Wadi an ihrer Mündung zeigt deutlich, daß sogar in den kurzen Küstenwadis Grundwasser selbst in jahrelangen Trockenperioden vorhanden ist und daß ähnliche Verhältnisse für die viel bedeutenderen Wadi des Innern gelten werden.

3. Das Küstengebirge.

Wir verstehen hier darunter jene, morphologisch wenigstens, als Gebirge hervortretende Höhenregion, die in wechselnder Breite zwischen der Küstenebene und dem flacheren Inneren in N—S-Richtung sich verfolgen läßt.

Tektonisch genommen ist das Küstengebirge kein Gebirge. Man könnte es eher als Erosionsgebirge bezeichnen. Es ist nichts anderes als der Rand der arabischen Tafel, der mit einer Steilmauer zur Küstenebene abfällt. Dieser Rand ist ein Bruch, im allgemeinen wohl von 1000 bis 1500 *m* Höhe. Durch das Zerschneiden der Bruchwand infolge der Erosion entsteht das Gebirge.

Die Erosion schreitet nun von der Meerseite rasch gegen Osten hin zu. Hier ist der Niveauunterschied ein bedeutender. Hier entfaltete die Erosion, besonders in der Pluvialzeit, ihre ganze Kraft und sägte richtige Berge aus der Steilmauer heraus.

Vom Innern her dagegen, das durchschnittlich um 800 *m* liegt, hat die Erosion einen viel (vier- bis fünfmal) längeren Weg und vor allem ist die Erosionsbasis viel höher gelegen. Infolgedessen zerschneidet die Erosion die Tafel nicht in dem Maße. So löst sich hier die Tafel gegen die Wasserscheide zu in eine Anzahl Zeugenberge auf, aber der Tafellandcharakter wird viel mehr betont. So erscheint das Gebirge von innen her ganz anders. Hier fehlen die imponierenden Mauern des Steilabsturzes der Tiḥama.

Hat man einmal die Höhe des Gebirges erstiegen, dann befindet man sich eben auf der Tafel und damit finden sich alle Charaktere ein, die für diese Zone gelten.

Das Gebirge ist zum größten Teil aus dem Grundgebirge aufgebaut. Es sind granitische Gesteine, aber auch basische Stöcke, Gänge finden sich in demselben. Kristalline Schiefer treten sehr zurück.

Das Grundgebirge wird von Nubischen Sandstein überlagert. Zwischen beiden liegt eine scharfe Diskordanz. Es ist eine Abtragungsfläche hohen Alters, wahrscheinlich schon in vorpaläozoischer Zeit angelegt.

Diese Fastebene ist mit voller Klarheit besonders östlich von ʿAḳaba auf weite Strecken hin zu verfolgen. Sie ist deswegen morphologisch von Interesse, weil im Küstengebirge dieser Gegend eben alle Gipfel aus dieser alten Fastebene heraus modelliert werden und so eine auf weite Strecken zu verfolgende Gipfelkonstanz zeigen.

Neben dem Grundgebirge spielen auch die Nubischen Sandsteine im Aufbau des Küstengebirges eine große Rolle. Das Rammgebirge östlich von ʿAḳaba besteht aus Nubischem Sandstein, ebenso die hohen Berge nach Süden.

Die Höhe der Berge wird eine beträchtliche. Östlich von ʿAḳaba maßen wir 1387 *m*. Das Rammgebirge ist sicherlich höher. Beim Übergang über den Paß Sîk haben wir Höhen von 1140 überschritten

Von der Höhe des Gebirges senkt sich die Tafel allmählich nach Osten, und Ṭebûk liegt in 80 *km* Entfernung von dem Kamme auf 775 *m*.

Weiter im Süden haben wir auf unserer Reise wieder größere Höhen erreicht, besonders in der Ḥarra. Hier schützen die härteren Basaltdecken die weicheren Sandsteinmassen vor der Abtragung und so stellen sich bedeutendere Höhen ein.

Diese Regionen der Ḥarra können wir nicht mehr gut dem Küstengebirge zurechnen, sondern sie gehören schon dem Innern an.

4. Das Innere des nördlichen Ḥeǧâz.

Das Innere des nördlichen Ḥeǧâz läßt sich am besten charakterisieren durch eine Gliederung in zwei Teile. Wir trennen einen nördlichen Teil, die Landschaft Ḥesma umfassend, und das Land um und noch östlich der Eisenbahn, vom Steilabsturz bei Baṭn Rûl bis auf die Höhe von Tebûk reichend. Davon haben wir die südliche Landschaft zu trennen, die Ḥarra, die das vulkanische Gebiet umfaßt.

Ḥesma ist eine typische Wüstenlandschaft. Hier herrschen die Sandsteine, die Sanddünen, die Zeugenberge, die echten Charaktere der Tafelwüste. Das ganze Land senkt sich nach Osten. Gegen die Bahn zu laufen die Trockentäler zusammen und münden in drei abflußlose Becken, die auf der Karte klar hervortreten.

Diese drei Becken sind durch eine Art kleiner Wasserscheiden getrennt und grenzen im Osten an die Hauptwasserscheide zwischen dem Indischen Ozean und dem Roten Meer. Diese Hauptwasserscheide des Ostens verläuft im nördlichen Ḥeǧâz in etwa 50 *km* der Bahn parallel. Von dieser Wasserscheide laufen alle Wadi nun ostwärts zum persischen Golf.

Ḥesma ist die Landschaft zwischen der Küstenwasserscheide und der Hauptwasserscheide. Die beiden Wasserscheiden laufen annähernd parallel N—S. So schaltet sich zwischen sie ein ungefähr

120 *km* breitre abflußloser Streifen ein, eine Art riesiger Wasserscheide bildend zwischen Rotem Meer und persischem Golf. Es ist das etwas Ähnliches, wie man es in Deutschostafrika in der Grabenregion findet.

Das nördliche Becken liegt um die Oase al-Mdawwara, 733 *m* hoch. Hier münden eine Reihe von Wadi aus West, Nord und Ost.

Die Höhenregion Šeʿata scheidet dieses nördlichste Becken von dem mittleren um die Station Dât-al-Ḥâğğ, 690 *m*.

Nun kommt die Höhenregion al-Âğât, eine Art Wasserscheide bildend, und dann die große breite Senke, östlich von Tebûk, al-Meḥteteb.

Ḥesma liegt viel tiefer als das Hochplateau von Maʿân. Den Steilabsturz auf Ḥesma haben wir bereits früher beschrieben.

Auf der Karte machen diese eben beschriebenen Senken zusammen den Eindruck einer großen flachen Wanne, die zwischen dem Steilabsturz vom Plateau von Maʿân, zwischen dem Küstengebirge, dann der Ḥarra und der Hauptwasserscheide im Osten liegt. Man könnte an ein abflußloses Becken denken, das vom Winde ausgeblasen worden ist. Das erscheint aber doch nicht plausibel. Tektonische Linien lassen sich aber direkt nicht aufweisen. Und doch erscheint es als das nächstliegende, diese Becken tektonisch deuten zu wollen und Brüche anzunehmen, so besonders für den Steilabsturz im Norden.

Diese Becken spielen bei der Wasserversorgung des Ḥeğâz eine große Rolle und werden später ebenfalls diesbezüglich noch eingehender besprochen.

Die Ḥarra, dieser wohl schrecklichste Teil des Ḥeğâz, bildet einen 100 *km* breiten Landstreifen. Westlich der Bahn große basaltische Decken, weiter im Süden junge aber erloschene Vulkane, geben dem ganzen einen fuchtbaren düsteren Charakter. Die Basaltdecken liegen den bunten Nubischen Sandsteinen auf und geben mit ihrem oberen Rand deutlich und auf weite Strecken den ebenen Charakter wieder. Nur schneidet hier die Erosion tiefer ein und so zerfällt das ganze in kleinere und größere Tafelberge, Plateaus, die durch Wadi besonders gegen die Bahn zu tief zerschnitten werden.

Die ganze Tafel neigt sich wohl gegen Osten, genau so wie Ḥesma.

Wie die Karte von Musil zeigt, schiebt sich von der Harrat ar-Rḥa gegen das Rote Meer zu ein über 100 *km* breiter Streifen ein, der wahrscheinlich nur aus Grundgebirge aufgebaut ist. Die Gebirge, die hier vorhanden sind, sind alle aus der Grundgebirgspeneplain herausgeschnitten.

Diese tiefere Fastebene ist wohl zu unterscheiden von der höheren, die über die Sandsteine hinweg geht, die mit der syrischen und der arabischen Einebnung in nachmesozoischer Zeit zusammenhängt.

Diese höhere Fastebene, die heute noch in der Hochebene von Maʿân schön erhalten ist, ist im Innern nicht so klar. Wenn man auf der Höhe eines Tafelberges ist, erkennt man sie wohl auch. Aber in der Tiefe des Innern verliert sich der Blick in jüngeren Formen, die ein Zyklus geschaffen hat, der erst mit der Zerstörung der oberen Fastebene eingesetzt hat.

In der Ḥarra tritt die jüngere Einebnung in der Basalttafel, wie gesagt, deutlicher hervor.

---

7. Die Wasserverhältnisse.

Wer zum erstenmal in die Wüste kommt, steht den Wasserverhältnissen, wie sie sich in den Brunnen äußern, einigermaßen ratlos gegenüber. Wenn man aber einmal längere Zeit hindurch die Verhältnisse verfolgt, das Land mit seinem Boden kennen gelernt hat, dann verschwinden allmählich die Rätsel von anfangs, die Anlage der Brunnen bekommt nicht mehr dieses Mystische. Man erkennt, daß aus dem Lande an Wasser alles herausgeholt wird, was eben möglich ist.

Und doch kann hier noch manches geleistet werden. Schon die Ḥeǧâzbahn hat an das Land viel größere Ansprüche in bezug auf Wasserleistung gestellt. Wenngleich schwer, aber es wurde geleistet. Die Erbauer der Ḥeǧâzbahn haben nach einer persönlichen Mitteilung von Exzellenz Meißner Pascha viel mit der Wünschelrute gearbeitet, und zwar mit Erfolg.

Wir wollen, um einen Einblick in die Brunnen zu erhalten, eine Systematik der verschiedenen Arten der Brunnen versuchen.

Wir können folgende Typen der Brunnen trennen:

1. Die Brunnen der Becken.

Das sind die wasserreichsten Brunnen. In mehr oder weniger großer Tiefe wird Wasser gefunden. So in den Senken al-Ǧafar, in den drei Becken an der Bahn. Hier liegen die Oasen. Hier liegen die großen Brunnen der Pilgerstraße.

Geologisch sind diese Anlagen vollständig klar. Die Brunnen liegen mehr oder weniger zentral im Becken. Dieses ist der Sammeltrog aller Wässer, die in der Regenzeit durch die Wadi in das abflußlose Becken geführt werden. Es füllen sich diese mit Wasser. Dann verdunstet das Wasser oberflächlich und es bleibt eine Salzkruste, eine Tenne übrig. Aber in die Tiefe ist Wasser eingesickert. Es ist auch auf dem Boden der Wadi, unter ihrem Gerölle dem Becken zugeflossen. Hier bildet eine mächtige Schotterschicht eine Schutzdecke gegen die aufsaugende Wirkung der Sonne.

So wird das Becken in der Tiefe wasserführend und es bedarf nur eines Eingriffes, dieses Wasser zu heben. Freilich kann es, wenn es zu tief geht, verunreinigt (salzig) werden.

Dieses Wasser der Becken ist im gewissen Grade artesisches Wasser. In der Tat kann man in der Oase Tebûk sehen, wie das Wasser aus dem Sande heraussprudelt, Blasen in die Höhe treibt. Offenbar kommt es mit einem gewissen Druck an die Oberfläche. Ich habe diese Verhältnisse nicht genauer studieren können, da ich in Tebûk gerade nicht viel Zeit hatte und die verfügbare Zeit auf die Aufnahme der verschiedenen Brunnen verwenden mußte.

Der Reichtum dieser Brunnen wird natürlich von der Größe des Einzugsgebietes abhängen. Da sieht man aus der Karte, daß jedenfalls die Oase Tebûk günstig daran ist. Zugleich hat auch die Ḥeǧâzbahn in Tebûk einen Brunnen eröffnet, der reichlich Wasser liefert.

2. Die Mündungsbrunnen der Küste.

Der zweite Typus der Brunnen sind die Brunnen des Küstengebietes. So die Brunnen von ʿAḳâba, von Haḳl, die Brunnen von al-Ḥrajbe u. a.

Hier ergibt sich folgendes geologische Bild:

Den Untergrund bildet das alte Grundgebirge. Darauf liegen die jüngeren Schotter. Das Grundgebirge ist wasserverdichtend. Wasserführend sind die Schotter. Dort, wo die Wadi aus dem Küstengebirge heraustreten, schneiden sich immer noch in der Fortsetzung talartige Vertiefungen in den Boden ein und wenn diese dazu noch im Grundgebirge sich einschneiden, dann fließt ihnen alles Wasser zu.

Die Brunnen der Küste nun sind nichts anderes als die Mündungen des Grundwasserstromes der Wadi in das Meer. Wie schon weiter oben einmal erwähnt wurde, kann man in der Ebbezeit diese unterirdischen Süßwasserbäche in das Meer einfließen sehen. Ich habe das besonders bei ʿAḳâba beobachten können.

Bei Bedʾ fließen diese Grundwasserströme der Wadi sogar streckenweise oberflächlich. Dann versinken sie wieder.

So zeigen die Wadi im Küstengebiet relativ viel Grundwasser, während im Mittellauf und Oberlauf wenig zu finden ist.

Dies zeigt ganz klar, daß erstens alles Wasser durch die Schotter in die Tiefe des Wadigrundes geht, und daß, wenigstens im Küstengebiet, je näher dem Meere zu, Wasser sicher im Wadi vorhanden ist.

Die Oasen der Küste haben reichlich Wasser. Ich kann hier die Frage nicht entscheiden, ob alles vorhandene Wasser wirklich ausgenutzt wird. Das eine scheint mir sicher, daß es jedenfalls jetzt nicht ökonomisch verwendet werden dürfte.

Mit diesen Brunnen im Mündungsgebiet der Wadi haben wir schon in Zusammenhang gesehen die Brunnen, die mit dem Grundwasser der Wadi zusammenhängen. Somit lernen wir eine weitere Gruppe von Brunnen kennen.

3. Die Brunnen der Wadi.

Solche Brunnen sind die Brunnen von Maʿân, die durch die Ḥeǧâzbahn gebohrt worden sind. Bei Maʿân findet sich in 10 *m* Tiefe Wasser. Und zwar sind die Brunnen in den Vertiefungen der Wadi gesetzt, sie durchfahren offenbar die Schotter, vielleicht auch die obersten wasserdurchlässigen Schichten des Anstehenden. Wenn dies auch der Fall ist, so ist es doch Wasser, das unter dem Schotter der Tiefenrinnen fließt, natürlich auch in den Boden versinken kann. Aber jedenfalls zeigen die Verhältnisse in Maʿân auf Wasserführung der Wadi in der Tiefe.

Solche Wadibrunnen habe ich des öfteren gesehen. In Wadi Ǧizel trat ähnlich wie bei Bedʿ das Wasser über die Schotter und bildete kleine Teiche mit reicher Vegetation, aber auch reichlich verunreinigt.

Die Anlage der Brunnen in den Wadi zeigt einige Kniffe. Die Erfahrung lehrt die Araber, in engeren, zum Beispiel in das Grundgebirge eingeschnittenen Wadi, die Brunnen dort anzulegen, wo eine Steilmauer sich dem fließenden Strom entgegenstellt. Dort, an dem Hindernis, staute sich das Wasser, die Erosion war stärker, Gerölle bohrten am Boden. So entstehen Unterhöhlungen, tiefere Auskolkungen im Untergrunde. In diesen findet sich dann das Wasser. Gerade an diesen Stellen sind die Brunnen angelegt.

Ich habe diese Verhältnisse studieren können und gesehen, wie in einem engen Gerinne das Wasser, offenbar auch Spalten benutzend, im Gerinne kleine Kolke ausbohrt und diese werden zu Sammelbehältern für das Wasser.

4. Die natürlichen Zisternen.

Das ist der nächste Typus der Brunnen. Einen typischen Vertreter dieser Art sah ich in der Ḥarra.

Auf der breiten Basalttafel findet sich eine spaltartige Vertiefung, die aus zwei kaarseeartig ineinander gelegten Mulden besteht. Die tiefere führt das Wasser. Es ist eine schwarz-grüne ölige Flüssigkeit, die zwischen 15 *m* hohen, fast senkrechten Wänden im Basalt eingebettet liegt. Die Sonne kommt in den engen Spalt fast nicht hinein. An senkrechter Wand steigt man auf hohen Stufen zu dem Wasser ab.

In regenreicher Zeit führt auch das höhere Becken Wasser. Denken wir uns dieses Becken im Grunde der Wadi, dann von Schottern zugedeckt, so erhalten wir den Typus dieser Auskolkungsbrunnen.

Diese natürlichen Zisternen finden sich häufig. Solche Löcher finden sich oft im Gestein. Sie gehen von Spalten, Klüften aus, werden durch das Wasser, den Wind, Frost, Hitze usw. vergrößert. Wird das später künstlich zugedeckt, liegt das ganze noch in einer Rinne, die in Regenzeiten das Wasser sammeln, so ist hier Gelegenheit für eine natürliche Zisterne.

5. Die künstlichen Zisternen

wollen wir hier im Anschluß an die natürlichen gleich anfügen, ohne auf sie weiters einzugehen.

6. Die Schichtquellbrunnen.

Dieser Typus von Brunnen findet sich hauptsächlich am Steilabsturz des Hochplateaus von Maʿân. Das ist eine Brunnenreihe, die von großer Bedeutung ist. Es sind die Brunnen, die im Zenomankalk liegen. Hierher gehören Delâra, Burḳa, al-Maṣri und eine ganze Reihe anderer Brunnen. Dieser Quellhorizont ist von solcher Bedeutung, daß die Römer bereits diese Quellen gefaßt haben und heute noch die Reste der römischen Wasserleitung weit zu verfolgen sind vom Steilabsturz von al-Batra bis nach Ḥomejma.

Die geologischen Verhältnisse sind, kurz gesagt, folgende: Wir haben wahrscheinlich eine 200 bis 300 *m* mächtige Schichttafel vor uns. Diese wird unten durch zenomane Mergel abgedichtet. Über den Mergel liegt ein zenomanes Kalkband. Dieses ist wasserführend. Darüber liegt eine Serie von Schiefern, Sandsteinen, Quarziten, wahrscheinlich dem Turon und Enon angehörig. Diese Schichten lassen das Wasser durchsickern. Es sammelt sich im Zenoman Kalk und kommt an den geeigneten Orten geradezu als Schichtquelle zutage.

7. Die Spaltquellen.

Im Grundgebirge macht man die Bemerkung, daß sich in den Tälern kleine Wasseräderchen auffinden lassen, die aus kleinen Spalten herauskommen. Es scheint sich hier um folgendes zu handeln. Das Grundgebirge zeigt einen oberflächlichen Verwitterungshut. Auf diesem kann Wasser eindringen, sickert dann auf Spalten in die Tiefe, wird dann in einer Ader zusammgefaßt und findet längs einer Spalte den Ausgang.

Es sind aber wenig bedeutsame Quellen.

Das sind die Haupttypen der Brunnen. Im einzelnen kompliziert sich öfter das Bild. Aber im Grunde lassen sich doch alle Vorkommen in dieses Schema einreihen.

In der Anlage der Brunnen zeigen sich eigenartige Verhältnisse, die zum Teil als Vorsichtsmaßregel gedeutet werden können. So sah ich bei al-Batra einen Brunnen, der einen tiefen wasserlosen Schacht zeigte. Man glaubt auf den ersten Blick, der Brunen wäre wasserlos. Dem ist aber nicht so. Von der Sohle des Schachtes führte ein niedriger Querschlag zu einem zweiten tieferen Schachte und dieser, von oben gar nicht zu sehen, führte erst Wasser.

Nach dieser Aufzählung der Brunnentypen wollen wir uns allgemeinen Fragen der Wasserverhältnisse des Ḥeğâz zuwenden und die Frage erörtern, ob mehr Wasser gefördert werden kann und auf welche Weise.

Dies ist für die Entwicklung des Landes von der größten Bedeutung.

Die Wüste ist in Wirklichkeit nicht so wasserlos, als es oberflächlich den Anschein hat. Wasser ist vorhanden, aber es liegt in der Tiefe und muß gehoben werden. Bohrungen werden in erster Linie gemacht werden müssen, und zwar in den schon genannten Beckengebieten und dann in den Wadis.

Das nördliche Ḥeğâz zeigt, wie die Karte lehrt, zwei Hauptwasserscheiden. Eine westliche und eine östliche. Die westliche ist die sekundäre, die östliche ist die große Grenze. Von hier ab fließt alles Wasser zum persischen Golf.

Von Norden nach Süden können wir im ganzen vier Becken scheiden.

1. Das Becken von al-Ğafar.
2. Das Becken von al-Mdawwara.
3. Das Becken von Dât-al Ḥâğğ.
4. Das Becken von Tebûk.

Dazu kommt als Einheit noch

5. Das Becken des Golfes von ʿAḳaba.

Auf der Karte sind diese Becken durch Linien abgegrenzt.

Das Becken des Golfes von ʿAḳaba und des Roten Meeres reicht von der Küste bis zur Wasserscheide. Die Flüsse (Wadi) sind recht kurz, haben ein Einzugsgebiet von durchschnittlich 50 *km* Länge. Nur das südlaufende Wadi ʿElfâl ist bedeutend länger. Trotz der Kürze des Wasserlaufes ist relativ viel Wasser da.

Es gibt hier im Küstengebiet nur Wasser, das über dem Grundgebirge liegt. Aus dem Grundgebirge selbst kann kein Wasser geholt werden. So kommt nur das Wasser in Betracht, das in den Schottern liegt. Dies ist zu heben. Es ist nicht allzuviel. Aber es ist da und hauptsächlich an die natürlichen Tiefenlinien gebunden. Dort ist es zu suchen und zu heben.

Es ist sicherlich mehr Wasser im Küstengebiet vorhanden, als zur Zeit zur Verwendung steht. Es dürften nicht unbedeutende Mengen sein, die zur Ebbezeit nutzlos in das Meer abfließen.

Neben Bohrungen werden Stauvorrichtungen hier zu schaffen sein.

Die Senke al-Ǧafar hat ein großes Einzugsgebiet. Es ist ungefähr ein kreisförmiges Becken mit 70 *km* Durchmesser. Je näher dem zentralen Teil, desto eher wird man Wasser erbohren können.

Das Becken von al-Mdawwara ist wohl etwas kleiner, ist ein Rechteck von 50×100 *km*. Hier gilt dasselbe.

Das Becken von Dât-al-Ḥâǧǧ ist bedeutend kleiner, bildet überhaupt nicht so sehr eine orographische und hydrographische Einheit, sondern verschmilzt mehr mit dem nördlichen und südlichen Becken. Diese sind es hauptsächlich, die schärfer hervortreten.

Das Becken von Tebûk ist das größte. Das Einzugsgebiet mißt 50×150 *km*. In Tebûk hatte ich Gelegenheit, eine Reihe von Brunnenlöchern aufzunehmen. Aus all den Profilen geht hervor, daß der Boden von einer Folge von Mergeln, Sanden, Schiefern etc. gebildet wird, daß in jeder Schicht ein bißchen Wasser läuft, daß es aber auch in größerer Tiefe reichere Wasseradern — um solche handelt es sich vor allem — gibt.

Brunnen, die nicht tief genug sind, führen mit der Zeit Wasser. Es ist Sickerwasser aus den verschiedenen Schichten. Diese Brunnen haben natürlich keinen besonders großen Wasservorrat. Er kann bald ausgeschöpft werden. Dann braucht der Brunnen wieder Zeit sich zu füllen.

Brunnen, die dagegen bis 30 *m* in die Tiefe gehen, wie der Eisenbahnbrunnen, können auf unerschöpfliche Wasseradern stoßen. Sie werden bei normalem Wasserbedarf nicht erschöpft.

Man braucht nicht einmal so tief gehen und erhält schon genügend Wasser.

Dies Verhalten wird nun in den Beckengebieten der Bahn wohl im allgemeinen zutreffen und hier werden aller Wahrscheinlichkeit nach größere Wassermassen gefördert werden können.

Mit einem Worte, in den Küstengebieten, dann in den abflußlosen Beckengebieten, besonders in den zentralen Teilen, in den Becken selbst, wird man Wasser fördern können.

Die Gebiete der Wasserscheiden sind natürlich ungleich schlechter daran.

Im Gebiete des Steilabsturzes wird man auch besonders im zenomanen Kalk, der, wie oben gezeigt wurde, ein besonderer Wasserhorizont ist, durch verständige Ausnützung dieser Horizonte Wasser schaffen können.

Unsere Frage, ob wir im Ḥeǧâz mehr Wasser noch fördern können, glaube ich, bejahend beantworten zu können.

Damit ist auch die Erschließung und die Entwicklung des Landes möglich.

---

8. Kolonisation.

Land und Leute des Ḥeǧâz sind abschreckend genug, daß nicht allzuviele Fremde dieses Land besuchen können. Die wissenschaftliche Erforschung Arabiens geht langsam vor sich, große Teile des Innern sind terra incognita.

Die neue Ḥeǧâzbahn ist jedenfalls eine der größten und gewaltigsten Errungenschaften der Neuzeit auf arabischem Boden.

Damit ist der Anfang für die weitere Erschließung gegeben. Ḥeǧâz ist für die muhamedanische Welt in den Städten Mekka und Medina der religiöse Mittelpunkt. Alte Wallfahrtsstraßen ziehen von Norden und Osten durch die Halbinsel.

Von Ägypten her, von Syrien, über Euphrat und Tigris kommen die Pilger.

So ist der Ḥeǧâz vor allem ein wichtiges Durchgangsgebiet des Westens und des Nordens.

Der Boden selbst wird nicht so vieles bieten. An Bodenschätzen ist nichts wesentliches bekannt. Kaum daß das Land seine Bewohner zu ernähren vermag.

Die Gegenwart ist wenig verlockend. Aber man kann voll Hoffnung in die Zukunft blicken und wünschen, daß auch hier ein Stück Land wieder urbar gemacht wird, das im Altertum der Eingang war in das Arabia felix.

Man kann sich wohl keinen größeren Gegensatz vorstellen, als wenn man die Überreste der verschiedenen Kulturperioden des Altertums gegenwärtig in öder verlassener Wüste vergehen sieht.

Wie lebendig sprechen zu uns die großen Totenstätten von Petra, die Grabesstätte von Ḥomejma, die römischen Wachtburgen auf al-Batra, die Tempelüberreste der Ruine Rwâfa, im Heiligtum des Θαμουδηνων ἐθνος.

Und heute — über alles hinwegnivellierend der Wüstensand, die brennende Sonne, nirgends mehr Kultur und Entwicklung, alles ertrinkend im Feuermeer der Wüste.

Wir sehen hier eine Erscheinung, die über große Gebiete der muhamedanischen Welt hinweggeht. Äußerlich ist es das Bild der Transgression der Wüste über einst wohnbares Gebiet, das Bild der Verschlechterung der klimatischen Verhältnisse.

Wir gehen hier nicht auf die Diskussion dieser Probleme ein, ob hier klimatische Verschlechterung als Grund des Niederganges zu suchen ist oder die Art der Muhamedaner.

Es handelt sich vor allem darum, den Ḥeǧâz in Anschluß an sein Nachbarland im Norden und im Westen zu bringen und damit der allgemeinen Kultur zu erschließen.

Die Grundbedingungen dafür sind, die Existenzbedingungen für den Menschen auszubauen, Wasser zu schaffen, sanitäre Vorkehrungen zu treffen, und den Boden, soweit es geht, urbar zu machen.

Wenn man sieht, wie in Tebûk auf dem Boden der Wüste in kurzer Zeit kleine Gemüsepflanzungen entstehen, Bäume gepflanzt werden und mit Hilfe des Wassers künstliche Oasen in kurzer Zeit entstehen und lebensfähig sind, so ist das eine recht eindrucksvolle Sprache und sie sagt klar, daß es möglich ist, hier Siedlungen zu schaffen.

Zweifellos ist es möglich, Wasser aus der Tiefe zu heben. Dies wurde bei der Besprechung der Brunnenarten angedeutet. Die Mündungsbrunnen können im Küstengebiet ausgebaut werden. Hier an der Küste können Siedlungen entstehen. Brunnen in den Becken können durch Bohrungen neu geschaffen werden. Wasserleitungen, Bewässerungsanlagen, künstliche Zisternen und noch andere Wasserförderungsanlagen werden geschaffen werden müssen, ebenso neue Bahnverbindungen, besonders gegen Ägypten.

So kommen in erster Linie die Küstenstriche und die Gegenden der Ḥeǧâzbahn für Kolonisation in Betracht. Hier sind die Verkehrsmittel soweit gegeben, daß die Bewohner mit Lebensmittel versorgt werden können.

Maʿân ist sicherlich geschaffen ein Mittelpunkt zu werden und die Eingangspforte für den Süden und Osten.

---

9. Die Sinaifrage.

Auf dem Wege von Wadi-Ǧizel nach Osten zur Eisenbahn in der Landschaft al-Ǧaw machten wir, so schreibt Musil: »am 2. Juli unverhofft die — nach meiner Ansicht — wichtigste Entdeckung auf dieser Forschungsreise, nämlich die des wahren biblischen Berges Sinai. Alle unsere Mühen wurden vergessen und gerne hätten wir auch die Grotten des »Diener Moses« genau untersucht, aber unser

Führer wollte um keinen Preis, daß wir den heiligen Vulkan al-Bedr betreten, und drohte uns augenblicklich zu verlassen, wenn wir nicht weiter ostwärts zögen. Wir mußten uns fügen und ich hoffte, daß uns Allâh morgen ermöglichen werde, was uns heute unmöglich war. Unser Weg führte uns mitten zwischen den Ḥarragebieten ar-Rha und alʿAwêreh, so daß wir fast alle erloschenen Vulkane ziemlich genau aufnehmen konnten«.

In einer Schrift »Zur Sinaifrage« führt Professor Oberhummer die Geschichte der Sinaifrage vor und zeigt, wie sich die Frage nach der Lage des biblischen Berges Sinai, die die kirchliche Tradition in ihrem Sinne längst gelöst hatte, indem sie bereits im 4. Jahrhunderte den Berg Sinai auf der gleichnamigen Halbinsel lokalisierte, allmählich eine andere Wendung nahm und zum Schluß gleichsam in der These von Gunkel gipfelte, der sagte: »Der Sinai muß ein Vulkan gewesen sein. Zu einem Vulkan hat Moses sein Volk geführt und in dem schrecklichen Vulkanausbruch hat man Jahves schauerliches und majestätisches Erscheinen erlebt«.

Gunkel selbst erweiterte, wie Oberhummer weiter ausführt, später seine Ausführungen dahin, daß der Sinai der Bibel, da auf der Sinaihalbinsel Vulkane fehlen, in den vulkanischen Gebieten Nordwestarabiens zu suchen sei.

Ich kann hier nicht weiter auf das Detail der Geschichte der Sinaifrage eingehen, verweise auf die Zusammenstellungen von Oberhummer und will hier nur noch anführen, daß Gunkel in seiner Anzeige von E. Meyers Buch »Die Israeliten« die Frage wiederholte: »Sollte es unseren Geologen nicht möglich sein, den Vulkan, der damals ausgebrochen sein muß, wiederzufinden?«.

Soweit die geschichtliche Entwicklung dieser Frage. Sie ist interessant, weil wir wieder ein Beispiel vor uns haben, wie auf rein theoretischem Wege alles zusammengedrängt wird, so daß die wirkliche Entdeckung, beziehungsweise Auffindung sozusagen zu einer mechanischen Sache wird.

Oberhummer sagt in der Sinaifrage weiter: »Dieses Problem scheint jetzt durch Professor Musil und seinen Begleiter, den Geologen L. Kober, gelöst zu sein.«

Hier setzt nun Musils Bericht ein, der den in der Ebene al-Ǧâw liegenden Vulkan al-Bedr für den wahren biblischen Berg Sinai erklärt.

Ich selbst habe über diese Vulkane in meinem kurzen Vorberichte nur gesagt: Zu den jüngsten Bildungen von geologischer Bedeutung gehören die Vulkane, welche im Gebiete der Ḥarrat-ar-ʿAwêreh aufgefunden wurden. Sie bilden eine Reihe mit nord-südlichem Verlaufe. Ihre basaltischen Decken und Tuffe erfüllen die seichten Wadi der nubischen Sandsteine.

Oberhummer sagt dann weiter: »Wir müssen jedenfalls die Möglichkeit zugeben, daß in historisch noch viel weiter zurückliegender Zeit auch einer der weiter nördlich gelegenen Vulkane einen Ausbruch gehabt hat. Näheres über die jetzige Beschaffenheit des Vulkans Ḥala-l-Bedr und die Wahrscheinlichkeit einer Bestätigung desselben in geologischer rezenter Zeit wird man ja aus dem zu erwartenden Berichte von L. Kober erfahren, wie uns andererseits die von Musil vorbereitete Arbeit über die Sinaifrage voraussichtlich ganz neue Aufklärungen bringen wird.«

Es soll nun hier die geologische Seite der Frage erörtert und gleich betont werden, daß die geologischen Verhältnisse dieser Vulkane zweifellos für die Möglichkeit von Ausbrüchen in geologisch-rezenter Zeit sprechen.

Man kann nicht sagen, wie lange es her ist, daß diese kleinen Vulkane aufgebaut wurden, aber alle Anzeichen sprechen für ein sehr jugendliches Alter.

Die Vulkane sind zum Teil fast gänzlich erhalten. Es sind niedere Kegel, vielleicht 100—200 *m* hoch. Zum Teil sind sie durch die Erosion zerschnitten.

Aber die jungen Basaltströme, die ihnen entflossen, sind so schön in ihrem ganzen Charakter erhalten, daß sie den Eindruck erwecken, als wären sie erst kurz vorher in die seichten Wadi herabgeflossen.

Die Stirne der Basaltströme sah ich an zwei Stellen noch ganz erhalten. In einem Falle bildete sie eine mehrere Meter hohe Mauer.

Auf dem Rücken der Ströme finden sich noch zahlreiche kleine Blasenkegel, die beim Ausströmen der Gase aus dem glutflüssigen Basaltstrom entstanden sind.

Ein Bild der Stirne eines dieser Lavaströme sieht genau so aus wie etwa eine Photographie der Stirnenden der jüngsten Lavaströme des Vesuv, etwa Bilder von Tre croci u. a.

Um die Vulkane finden sich prächtige Bomben verstreut. Einige Exemplare davon habe ich mitgenommen.

In Figur 38 findet sich eine Skizze dieser Vulkane, die gleich nördlich unseres Weges lagen. Auch im Süden, gleich neben unserem Wege, standen zerstreut noch einige solcher Kegel.

Leider sind meine Aufzeichnungen über diese Gegend recht dürftige, da so wenig Zeit war zu Beobachtungen, und es vor allem verboten war, Skizzenbücher, Bleistifte auch nur sehen zu lassen. Die Aufzeichnungen durften alle nur im geheimen gemacht werden. Auch war mir an Ort und Stelle die Bedeutung dieser Vulkane nicht bekannt, sonst wäre es wahrscheinlich doch irgendwie möglich gewesen, die geologischen Verhältnisse eingehender zu betrachten.

Aber ich glaube, daß auch diese kurzen Ausführungen genügen werden, das jugendliche Alter dieser Vulkane deutlich zu zeigen, und somit Ausbrüche dieser Vulkane in historischer Zeit in den Bereich der Möglichkeit zu rücken.

Solche vulkanische Ausbrüche haben zum Beispiel noch bei Medina 1256 stattgefunden.

Damit ist die geologische Seite der Hypothesen von Musil, glaube ich, genügend erörtert.

Literaturverzeichnis.

Banse Ew.: Der Orient. Pet.-geogr. Mitt., 1909, Heft XI—XII.

— Der arabische Orient. (Orient II.) Aus Natur- und Geistesleben, Samml. wiss. gemeinverst. Darstell. Leipzig, 1910.

Barron T.: The topography and geology of the Peninsula of Sinai. Western portion. Survey Depart. Egypt. Cairo, 1907.

Bauerman: Note on a geological reconnaisance mode in Arabia Petraea in the Spring of 1868. Quart. Journ. Geol. Soc., 1860, 25, p. 17.

Bauermann et Tate: On the Age of the Nubian Sandstone. Quart. Journ. Geol. Soc., XXVII, 1871, p. 404—406.

Behn Ernst: Jemen, Grundzüge der Bodenplastik und ihr Einfluß auf Klima und Lebewelt. Diss. Marburg. Göttingen (Druck v. W. Fr. Kaestner), 1910.

Blankenhorn M.: Neues zur Geologie Palästinas und des ägyptischen Niltales. Berlin. Zeitschr. Deutsch. geol. Ges., 62, 1910—1911, 405—461, mit 1 Tab.

— Das Klima der Quartärperiode in Syrien-Palästina und Ägypten. In: Die Veränderungen des Klimas. 11. Internat. Geologenkongr. Stockholm, 1910 (425—428).

— Neues zur Geologie und Paläontologie Ägyptens. Zeitschr. Deutsch. geol. Ges., LII, p. 21—47, 1900.

— Kurzer Abriß der Geologie Palästinas. Mit einer geol. Karte. Leipzig, 1912.

— Abriß der Geoloige Syriens. Zeitschr. Altneuland. 1904 und 1905.

— Die Hedschazbahn. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1907.

— Über die Steinzeit und die Feuersteinartefakte in Syrien-Palästina. Zeitschr. f. Ethnologie. 1905, p. 447.

— Jordantal. Monatsber. Deutsch. geol. Ges. Berlin, 1909, 134—135.

— Handb. d. regional. Geologie. V. Bd., 4. Abt., Syrien, Arabien und Mesopotamien. Heidelberg 1914.

Blunt Will. Scawen: Notes on the physical geography of Northern Arabia, in

— Lady Anne: A Pilgrimage to Nejd, in 8°, 1881, II, p. 235—248.

Bonney G. T.: The Kishon and Jordan Valleys, Geological Magazine. Dezember 1904, p. 575.

Burton and Drake: Unexplored Syria. Visits to the Libanus, the Tulûl el-Safa, the Antilibanus, the Northern Libanus and the ʿAlah. Zool. London, 1872.

Burton R. F.: The Gold-Mines of Midian and the ruined Midianitic Cities. In 8°. London, 1878.

— The Land of Midian (revisited). London, 1879.

Buxtorf A. Analogien im Gebirgsbau des schweizerischen Tafeljura und der arabischen Wüste. Verh. Schweiz. Nat. Ges. 39, 1910 (Pr. verb. 231).

Dienemann W.: Älteres Paläozoikum in Südsyrien und Westarabien. N. Jahrb. f. Min. 1914.

Doughty: Travels in North-Western Arabia and Nejd. Proced. R. Geogr. Soc. new. ser., VI, 1884, p. 382—399, carte.

Ehrenberg: Über die Natur und Bildung der Korallenbänke des Roten Meeres. Abhandl. Akad. Wiss. Berlin, XVIII, 1832, a, p. 381—432.

Euting: Tagebuch einer Reise durch Innerarabien.

Faurot L.: Sur les sédiments quarternaires de l'ile de Kamerane (Mer Rouge) et du golfe de Tadjoura. Bull. Soc. Géol. de Fr. 3e sérr., XVI, 1887—88, p. 528—546, pl. IX, X.

Fraas O.: Aus dem Orient. Geologische Beobachtungen am Nil, auf der Sinaihalbinsel und in Syrien. In 8°. Stuttgart, 1867.

Fuchs E.: Beiträge zur Petrographie Palästinas und der Ḥeğâzprovinz. (Beitr. z. Paläontol. u. Geol. Palästinas. Herausg. v. M. Blanckenhorn. III. N. J. f. Min. 1915.

Gumprecht E.: Die vulkanische Tätigkeit auf dem Festlande von Afrika, in Arabien und auf den Inseln des Roten Meeres. In 8°. Berlin, 1849, p. 103—193.

Hull Edw.: Mount Seir, Sinai and Western Palestine. In 8°. London, 1885, p. 100—106.

— Memoir on the Physical Geology and Geography of Arabia, Petraea, Palestine and adjoining Districts, withe epecia Reference to the mode Formation of the Jordan Arabah-Depression and the Dead Sea. In 4°. London, 1886, cartes

Hume W. F.: The topography and geology of the peninsula. (South eastern party.) Survey Departem. Egypt. Cairo, 1906.

— Climtic changes in Egypt during port-glacial times. In: Die Veränderungen des Klimas. 11. Internat. Geologenkongreß. Stockholm, 1910 (421—424).

Issel Art.: Morphologia e genesi del Mar Rosso. Terzo Congr. geogr. ital. Firenzi, 1899.

Klebelsberg R. v.: Ein Beitrag zur Kenntnis des Sinaikarbons. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 63. 1911. Monatsberich. Nr. 12, p. 594.

Kober L.: Vorbericht über die Forschungsreise in den nördlichen Ḥeğâz. Kais. Ak. Wiss. Wien, Anz. d. math.-nat. Kl. vom 18. Mai 1911, Nr. XIII.

— Vorbericht über die Taurusreise. Ebenda vom 20. Oktober 1910, Nr. XX.

— Bericht über eine geologische Reise in Mittelsyrien und im nordöstlichen Taurus. Mitt. d. geol. Ges. Bd. III. Wien, 1910.

— Geologische Forschungen in Vorderasien. I. Teil. *A.* Das Taurusgebirge. *B.* Zur Tektonik des Libanon. Denkschr. Ak. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 91. Bd.

Lartet L.: Essai sur la geologie de la Palestine et des contrées avoisinantes Ann. des Soc. géol. I, 1869, p. 1—116. 149—329, carte.

— Exploration geologique de la mer Morte, de la Palestine et de l'Idumée. In 4 °. Paris, 1877.

Leachman G. E.: Reise im nordöstlichen Arabien. G. J. März 1911, mit K.

— a journey in north-eastern Arabia, G. J. XXXVII, 1911, 265—274.

Libbey William: Physical features of the Jordan valley. (Abstract.) New-York. N. Y. Bull. Amer. geol. Soc. 38, 1906 (96—97).

Luksch J. und Wolf J.: Berichte der Kommission zur Erforschung des östlichen Mittelmeeres. III. Denkschr. k. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl., LXI, 1894, p. 92.

Marchand H.: Les questions d'Arabie. Le Yémen. Mascate et Koweit. Quest. Dipl. Col. XV, Nr. 339, 397—407.

Milne: Geological Notes of the Sinaitic Peninsula and Nordwestern Arabia. Quart. Journ. Geol. Soc. XXXI, 1875, p. 1—28.

Musil A.: Im nördlichen Ḥeğâz. Vorbericht über die Forschungsreise 1910. Anzeiger d. phil.-hist. Kl. d. kais. Akad. d. Wiss. vom 17. Mai. Jahrg. 1911. Nr. XIII. Wien, 1911.

— Arabia peträa. I. Moab. Wien, 1907.

Natterer C.: Denkschr. k. Akad. Wiss. Wien, LXV, 1898.

Newton R. Bullen: On some fossils from the Nubian sondstone series of Egypt. Geol. Magaz. dec. V. VI., 1909.

Niebuhr Carstm.: Beschreibung von Arabien. Kopenhagen, 1772.

Noetling Fritz: Entwurf einer Gliederung der Kreideformation in Syrien und Palästina. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. XXXVIII p. 830—875, 2 Tab., pl. XXIII—XXVII, 1886.

Oberhumer E.: Die Sinaifrage. Mitt. geogr. Ges. Wien, 1911, Heft 12, p. 628—641.

Ritter Karl: Die Erdkunde usw. III. Buch: Westasien. Berlin, 1822—1825.

Russegger Jos.: Reisen in Europa, Asien und Afrika. Stuttgart, 1841—1844.

Russel J. C.: The Jordan-Arabah Depression and the Dead Sea. Geol. Mag. Dec. 3, V, 1888, p. 337—344, 387—395.

Schellwien: Über eine angebliche Kohlenkalkfauna aus der ägyptisch-arabischen Wüste. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 46, 1894, p. 68.

Schmidt W.: Das südwestliche Arabien. Frankfurt a. M., 1913.

Suess Ed.: Antlitz der Erde. III/1 und III/2.

— Die Brüche des östlichen Afrikas. Denkschr. d. Ak. d. Wiss. math.-nat. Kl. Bd. LVIII, 1891.

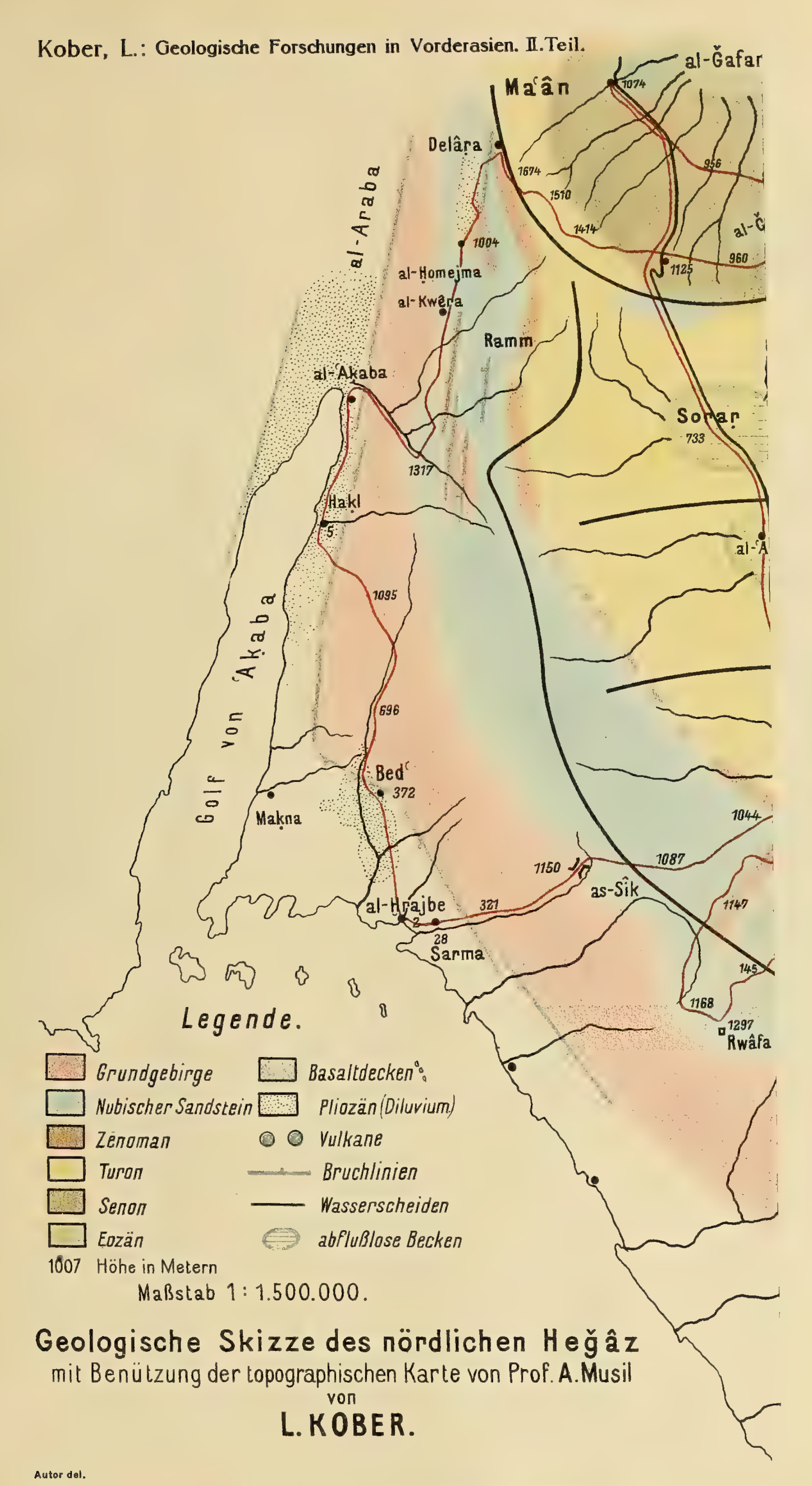
Walther J.: Ergebnisse einer Forschungsreise auf der Sinaihalbinsel. Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde. Berlin, XV, 1888, p. 224—255.

— Die Korallriffe der Sinaihalbinsel. Abh. math.-phys., Kl. K. Ges. d. Wiss. Leipzig, XIV, 1888.

— Über eine Kohlenkalkfauna aus der ägyptisch-arabischen Wüste. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 42, 1890, p. 419.

Wetzstein: Reise in den beiden Trachoren und im Haurangebirge. Zeitschr. d. Gesch. f. Erdkunde. Berlin, 1859, p. 113.

Wilson und Palmer: Ordnance Survey of the Peninsula of Sinai. 1868—1869. Southampton, 1869.



Geologische Skizze des nördlichen Heğâz

mit Benützung der topographischen Karte von Prof. A. Musil

von

L. KOBER.

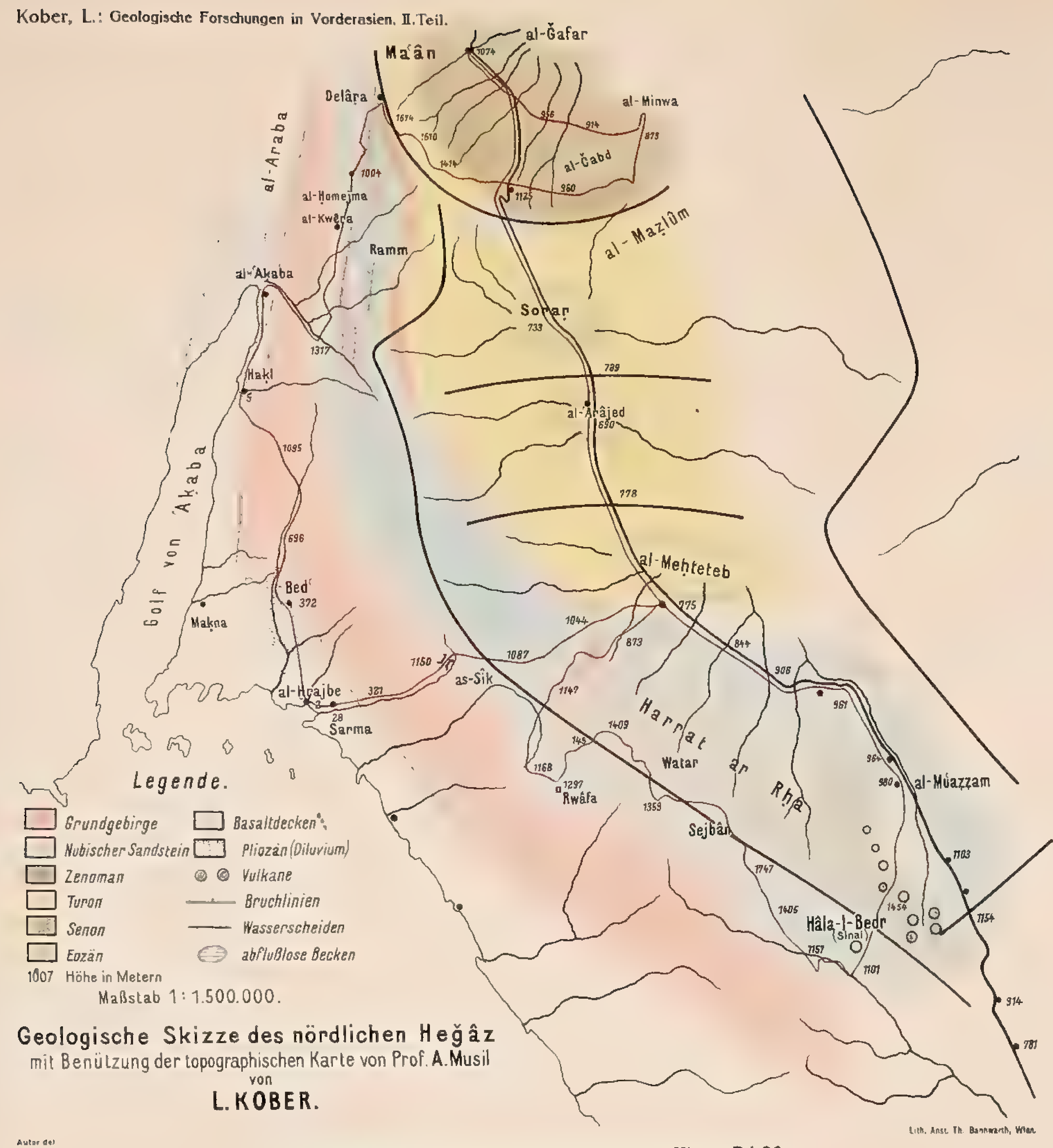
Autor del.

Suess Ed.: A
— Die E

Walther J.:
p. 22
— Die K
— Über

Wetzstein: I

Wilson und



Geologische Skizze des nördlichen Heǧâz

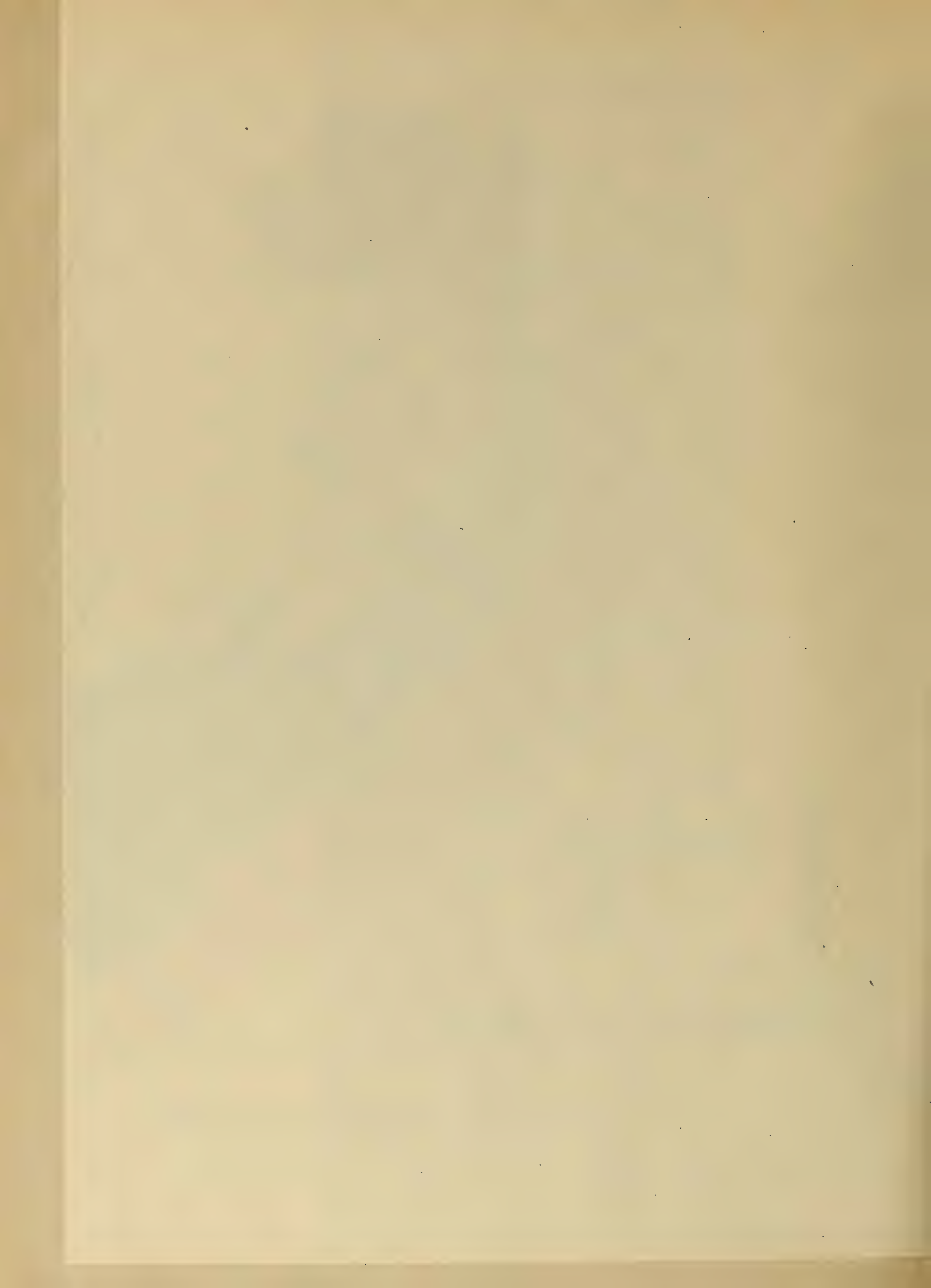
mit Benützung der topographischen Karte von Prof. A. Musil

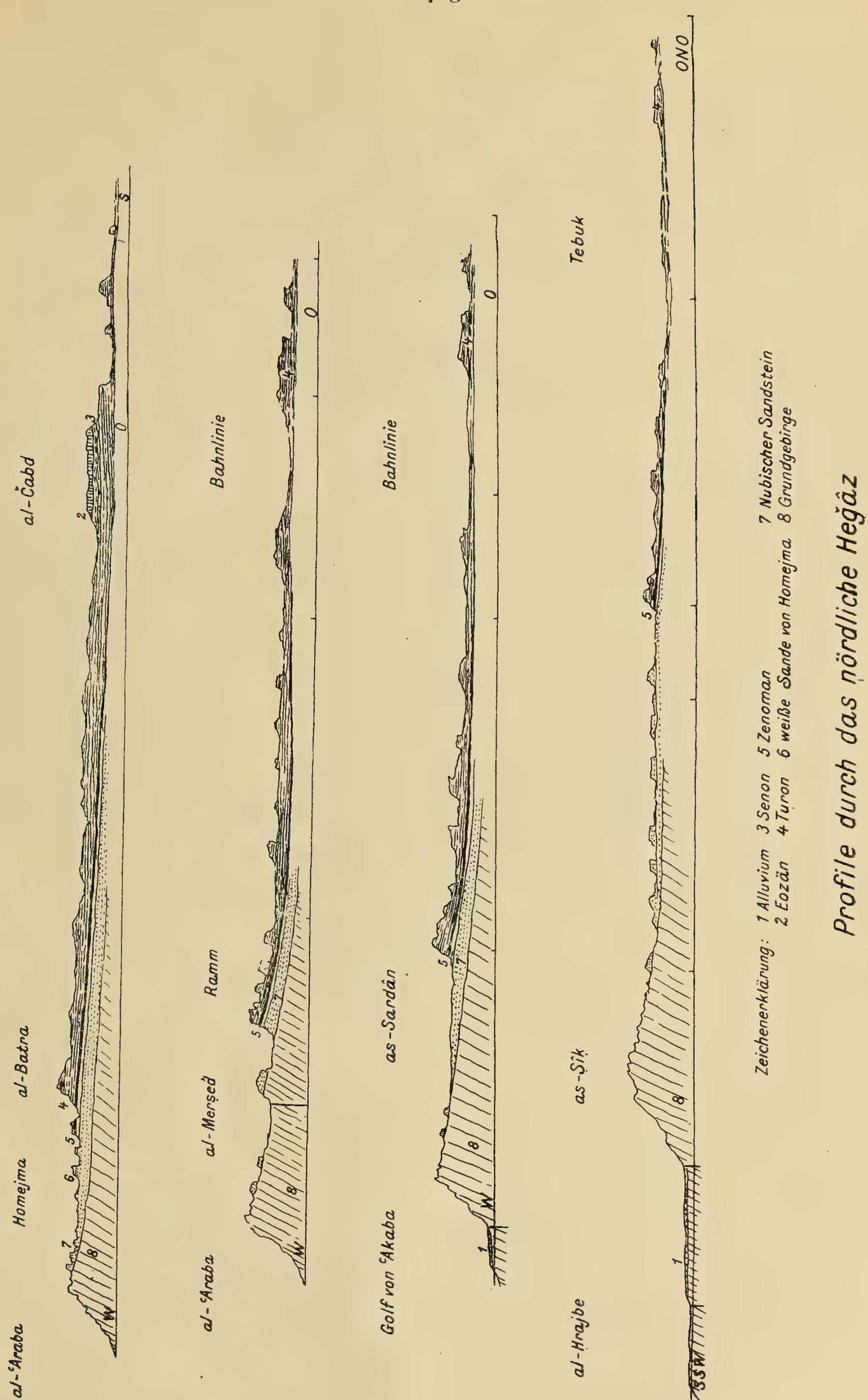
von

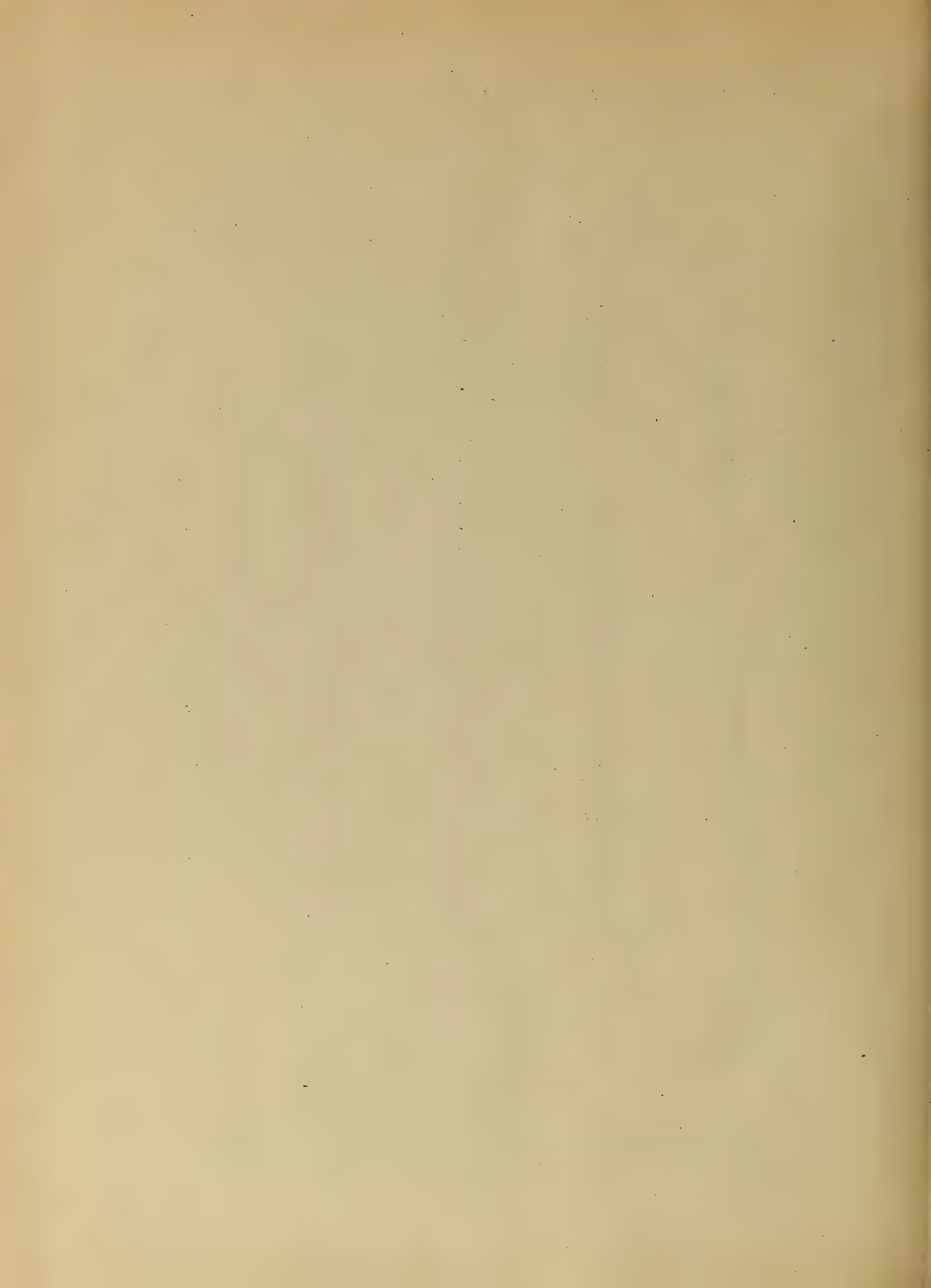
L. KOBER.

Autor del.

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien.




al-'Araba
Homejma
al-Batra
al-Čabd
al-'Araba
al-Merṣed
Ramm
Bahnlinie
Golf von 'Akaba
as-Sardân
Bahnlinie
al-Hrajbe
as-Šîk
Tebuk
SSW
ONO
Zeichenerklärung: 1 Alluvium 3 Senon 5 Zenoman 7 Nubischer Sandstein
2 Eozän 4 Turon 6 weiße Sande von Homejma 8 Grundgebirge
Profile durch das nördliche Heğâz



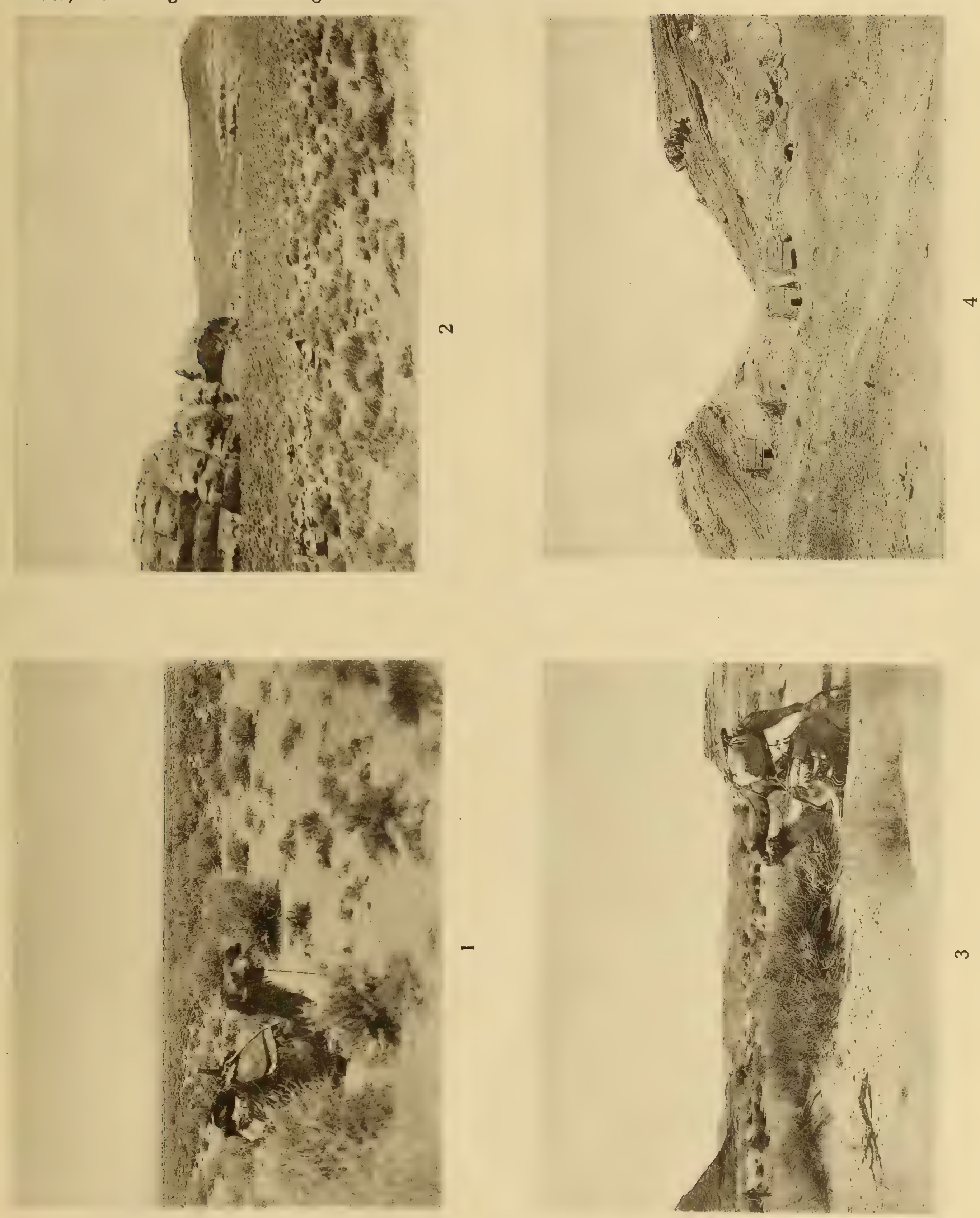
Erklärung der Abbildungen.

Tafel III.

Fig. 1. Bild aus der Hamad im östlichen Hochplateau von Mä ân.
Fig. 2. Nubischer Sandstein, von Basalt überlagert, bei Rwâfa.
Fig. 3. Nubischer Sandstein westlich von Tebûk.
Fig. 4. Die pliozänen-diluvialen Ablagerungen von Bed' (an der Küste).

Tafel IV.

Fig. 1. Grundgebirge auf der Westseite von Kwêra.
Fig. 2. Blick von der Oase al-Ḥrajbe gegen Osten auf den Steilabfall des Küstengebirges.
Fig. 3. Auflagerung des nubischen Sandsteines auf das Grundgebirge im Wadi al-Merṣêd.
Fig. 4. Blick von Kwêra gegen Südosten vom Wadi al-Merṣêd. Rechts Grundgebirge, links nubischer Sandstein.



Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien





2

4

1

3

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.



DIE HISTOLOGIE DER TYPISCHEN HEREDITÄR-DEGENERATIVEN TAUBSTUMMHEIT

(AUS DER OHRENABTEILUNG DER ALLGEMEINEN POLIKLINIK IN WIEN)

VON

PROF. DR. GUSTAV ALEXANDER
(WIEN)

MIT 4 TAFELN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 6. FEBRUAR 1919

Die Entwicklung unserer histologischen Kenntnisse der der Taubheit zugrunde liegenden Veränderungen hatte gewisse Etappen zu durchlaufen. Sie begann mit der musealen Sammlung der verschiedensten Einzelbefunde, die zunächst in die beiden großen Gruppen der kongenitalen und der erworbenen Taubheit gebracht wurden. Für das Urteil, ob eine Taubheit kongenital oder erworben sei, kamen vor allem die so häufig unverläßlichen Daten der Anamnese in Betracht. Anfänglich schien es nun auch, daß uns der anatomische Befund die fehlende oder ungenaue Anamnese ersetzen könnte. Es schien Aussicht vorhanden, die Diagnose der kongenitalen und der erworbenen Taubheit nach dem histologischen Bilde allein machen zu können. Die Veröffentlichung der einzelnen genauen Befunde erbrachte fast die gegenteilige Tatsache. In manchen Fällen, namentlich wenn es sich bei der erworbenen Taubheit um frisch Ertaubte handelte, kann allerdings aus dem histologischen Befunde die Frage, ob die Taubheit kongenital oder erworben ist, unzweifelhaft beantwortet werden, für eine große Anzahl von Fällen zeigte sich dagegen geradezu ein Überfließen der charakteristischen Merkmale von einer Gruppe in die andere. Zumal ließ sich an alten Fällen eine große Anzahl der gleichen Einzelbefunde am Labyrinthe sowohl bei kongenitaler als auch bei erworbener Taubheit feststellen. Diese Tatsache ergibt neuerlich den bedeutenden Wert von Personaldaten, beziehungsweise genaueren anamnestischen Angaben. Dieselbe Tatsache erweist auch, daß Einzeltypen nur aufgestellt werden können auf der Grundlage klinischer und histologischer Daten. Die klinischen Daten werden um so vollständiger sein, je mehr sie über die körperlichen Eigenschaften des betreffenden Individuums und eventuell über außerhalb des Gehörorgans gelegene pathologische Veränderungen Aufschluß geben. Die Wichtigkeit des Studiums der Konstitution in Fällen von Labyrintherkrankungen ist neuerdings von Hammerschlag und Stein (12) in sehr bemerkenswerter Form hervorgehoben worden.

Einer der interessantesten Typen der kongenitalen Taubheit ist die hereditär-degenerative Taubheit. Der im folgenden mitgeteilte Fall zeigt in allem die charakteristischen Merkmale dieses Krankheitsbildes, er gehört zur Gruppe der mit Retinitis pigmentosa kombinierten hereditär-degenerativen Taubstummheit und scheint mir deshalb ausführlicher Mitteilung würdig.

In der Literatur sind nur zwei Mitteilungen über die Anatomie des Gehörorgans von Fällen angeborener Taubstummheit und Retinitis pigmentosa verzeichnet. Der erste Fall ist von Lucae (14) mitgeteilt und bringt nur einen unvollständigen Lupenbefund, eingehendere Angaben verdanken wir Siebenmann und Bing (25).

Siebenmann, der die Untersuchung des Gehörorganes durchgeführt hat, verweist zunächst auf die Ansicht Bezolds (5), daß bei den mit Retinitis pigmentosa kombinierten Formen von angeborener Taubheit sowohl in der Schnecke als auch im Labyrinth schwere anatomische Veränderungen zu erwarten sind. Der Siebenmann'sche Fall selbst betrifft einen im Alter von 69 Jahren verstorbenen Taubstummen, der nie gehört und nie gesprochen hat. Die Untersuchung der Gehörorgane, die sich beide gleichartig und gleichgradig verändert erwiesen, ergab folgendes:

Der stark degenerierte Nervus cochlearis entspricht in seinem Dickendurchmesser ungefähr der Norm, ist jedoch reich an Bindegewebe und enthält nur einzelne mit Eisenhaematoxylin tingierbare Fasern. Das Ganglion spirale war hochgradig atrophisch. Die Reissner'sche Membran war überall vorhanden, jedoch artifiziell verändert. Das Cortische Organ war nur rudimentär entwickelt, im untersten Teil der Schnecke fehlte es vollständig. Sein Auftreten beginnt erst am oberen Ende der Basalwindung in der Form eines aus kubischen Epithelzellen bestehenden Zellhaufens, der abnormerweise peripheriewärts gegen die Crista ligamenti spiralis verschoben ist. Die Membrana tectoria fehlt nirgends, ist aber auffallend dünn und zart. Die Stria ist zum Teil hypoplastisch, fehlte rechterseits in einer umschriebenen Stelle vollständig und ist sehr gefäßarm. Die wenigen Gefäße sind auffallend groß, nur an einer Stelle finden sich in der Stria, im Querschnitt wie eine Zyste erscheinende Gefäße.

Die Lamina spiralis ossea ist etwas dünner als normal. Der für Nerven und Gefäße bestimmte Raum ist leer oder teilweise mit kernarmem Bindegewebe gefüllt. Das Labium vestibulare in der Basalwandung ist auffallend lang und dünn. Die Claudius'schen Zellen sind etwas plumper als normal; ihre Kerne sind besonders scharf und deutlich gefärbt. Die tympanale Belegschicht der Membrana spiralis ist etwa um die Hälfte dünner als normal. Siebenmann findet auch die Knochenzwischenwände der Skalen auffallend dünn.

Das Ligamentum spirale nimmt in seiner Mächtigkeit von unten nach oben auffallend rasch ab. In der Basalwindung zeigen sich Unregelmäßigkeiten im Verlaufe und unscharfe Konturierung seiner Faserzüge.

Die arteriosklerotischen Gefäßveränderungen sind auf den retrolabyrinthären Verlauf der Gefäßstämme beschränkt; intralabyrinthär sind die Gefäßwandungen im Ganzen zart. Hyaline Verdickungen finden sich selten. Die Vaskularisation ist im ganzen Kapillargebiete eine auffallend geringe, dafür sind die vorhandenen Gefäße um so weiter. Dies tritt namentlich deutlich auf den Striadurchschnitten, in den knöchernen Zwischenwänden und im ganzen Ligamentum spirale zutage. Die Prominentia spiralis enthält keine Gefäße, auch die Spindel ist im ganzen etwas gefäßarm. Das Vas spirale findet Siebenmann nur in der Mittelwindung, also in demjenigen Teile des Ductus cochlearis, in welchem das Cortische Organ noch am besten entwickelt ist, doch ist das Gefäß mehr axialwärts verschoben, sodaß es im axialen Vertikalschnitt unter den Sulcus spiralis internus zu liegen kommt. Siebenmann verweist auch darauf, daß die knöcherne Zwischenwand, die nur ein Drittel der normalen Dicke besitzt, zumeist aus solidem Knochen besteht. Die wenigen vorhandenen Kanäle sind von derbem Bindegewebe ausgefüllt und selten trifft man darin ein Blutgefäß.

Die Stria vascularis ist auffallend pigmentarm, im übrigen ist der Pigmentgehalt des Labyrinths nicht bedeutend, jedoch nicht abnorm gering.

Im Bereiche des Labyrinths findet Siebenmann folgende Veränderungen: Das Epithel der Cristae um ein Drittel niedriger als in der Norm und degeneriert. Die Crista der hinteren Ampulle zeigt namentlich in ihrer Mitte eine eigentümliche Verdickung und schollig-hyaline Beschaffenheit der Basalmembran. Hervorzuheben wäre, daß das Epithel des Sacculus links fast überall normal, rechterseits dagegen degeneriert ist. Hingegen erweist sich die Macula utriculi beiderseits degeneriert.

Manche der beschriebenen Veränderungen sind allerdings sicher als postmortale Artefakte zu deuten, so z. B. das Auftreten von mit Heidenhain-van Gieson schwarz gefärbten Hügeln und buckelförmigen Vorsprüngen am Maculaepithel. Über die Statolithenmembranen und die Cupulae ließ sich infolge des mangelhaften Konservierungszustandes des Präparates nichts Sicheres aussagen. Das Labyrinth ist mit Blutgefäßen besser versorgt als die Cochlea, doch ist auch hier eine Armut an Kapillaren und das stellenweise Auftreten abnorm großer Gefäßzweige festzustellen; so war insbesondere die hintere Ampulle der rechten Seite von angiomartig vergrößerten dünnwandigen und strotzend gefüllten Gefäßen durchzogen. Der Nervus vestibularis und seine Ganglien erwiesen sich normal.

Das Gehirn des Siebenmann'schen Falles ist von Bing untersucht worden. Sein Gewicht beträgt nach Abzug von Pia und Gefäßen 1256 *g*, das heißt, es ist dem Alter entsprechend. Beide ersten Schläfenwindungen, besonders die linksseitige sind verschmälert, außerdem findet sich links eine starke Furchungsanomalie, indem eine ungewöhnliche Furche die 2. und 3. Temporalwindung zwischen mittlerem und hinterem Drittel rechtwinkelig durchschneidet. Abnorme Verhältnisse ergab die Untersuchung der Hirnrinde. Die Rindenbreite ist bedeutend verringert, und zwar besonders auf Kosten der Schichte der kleinen Pyramiden, der tiefen mittelgroßen Pyramiden und der Spindelzellenschicht, dagegen ist die Schichte der oberflächlichen großen Pyramiden erweitert, trotz der Lichtung ihrer nervösen Elemente. Die Pyramidenzellen zeigen bei Nisslfärbung in den verschiedensten Schichten und den verschiedensten Größen durchwegs ein vollkommenes Fehlen der Zellengranulierung.

Der Cochleariskern (ventrale Acusticuskern) ist schwer alteriert, die Zellen sind spärlich und klein; die Striae acusticae und die Fasern des Corpus trapezoides waren normal. Der Vestibulariskern zeigt Elemente, die vielleicht spärlicher und kleiner sind als normal, jedenfalls aber nicht in beträchtlichem Maße, die aber, nach Nissl untersucht, den Eindruck normaler oder jedenfalls nicht tiefgehend alterierter Ganglienzellen erwecken.

Ich lasse nun die Krankengeschichte und den Befund des Gehörorgans des von mir untersuchten Falles folgen. Die Veröffentlichung des Hirnbefundes wird gesondert erfolgen.

Herrn Prof. Haberda bin ich für die Überlassung des Gehörorgans und des Gehirns dieses Falles zu besonderem Danke verpflichtet.

Fall 109.

Friedrich Welsch aus Wieselburg in Ungarn, geboren Oktober 1860, Bürstenmachergehilfe, IV., Waaggasse 13 wohnhaft. Gestorben 52 Jahre alt, am 2. Februar 1912, $^1/_2$2 Uhr nachmittags.

Das Protokoll des gerichtlich-medizinischen Institutes in Wien enthält bezüglich des Falles folgende Daten: »War taubstumm und fast blind; ist in einer Weinstube, bevor er noch etwas genossen hatte, unter Erbrechen zusammengestürzt und auf dem Transport in seine Wohnung gestorben.«

Sektionsbefund (Prof. Haberda): Kleine, männliche Leiche, von kräftigem Knochenbau, kräftiger Muskulatur, recht gut genährt, blaß, mit mäßig reichlichen, violettroten Totenflecken, rundliches Gesicht, bläulichrot, sichtbare Schleimhäute blutreich, Lippensaum vertrocknet. Augäpfel matsch, im Pupillarbereich beiderseits eine weiße rundliche Stelle, anscheinend von einem vorderen Polarstar herrührend, zu sehen. Das äußere Ohr wohlgebildet. Hals kurz, Brustkorb kräftig, Bauch durch Fett etwas vorgewölbt. Geschlechtsteile gut entwickelt. After eingezogen. Glieder starr.

Schädeldecken blutreich, wenig schwammig, Schädeldach breitoval, 17 *cm* lang, 14 $^1/_2$ *cm* breit, 5 *mm* dick, von 51 *cm* Umfang, symmetrisch, harte Hirnhaut glatt, glänzend, in ihren Blutbahnen flüssiges Blut. Dura überall leicht ablösbar. Am Schädelgrund mäßig tiefe Abdrücke der Hirnwindungen. Innere Hirnhäute mäßig blutreich, am Scheitel etwas weißlich verdickt und getrübt, Gehirn

zäh, in Rinde und Mark mäßig blutreich, das weiße Mark etwas durchfeuchtet. Hirnwindungen recht reichlich, von normaler Anordnung, Kammern ganz wenig erweitert, Kleinhirn und verlängertes Mark feucht, mäßig blutreich. Hirnarterien in der Wand stark verdickt, starrwandig. Schilddrüse klein, mäßig blutreich. In den oberen Luftwegen Schleim. Schleimhaut mäßig blutreich. Rechte Lunge mit der Spitze angewachsen, linke frei, beide mäßig gedunsen, durchaus lufthaltig, recht blutreich, stark durchfeuchtet, in den Luftästen mehr Schaum. Schleimhaut blutreich. Herz reichlich mit Fett bewachsen, sehr schlaff, enthält flüssiges Blut. Aorta nur hie und da fleckig verdickt. Koronarostien weit, die Koronararterien selbst drahthart, stark geschlängelt, Wandung von gelber Farbe, verdickt, stellenweise verkalkt, Lichtung dadurch verengt. Herzhöhlen weit, Wand verdickt, Herzfleisch stark erbleicht, aufgefasert, zerreißlicher, rechts stark von Fett durchwachsen. Leber gewöhnlich groß, glatt, Gewebe blutreich, mit normaler Zeichnung. In der Gallenblase flüssige Galle. Milz auffallend breit, 12 : 10 : 5 *cm*. Kapsel zart. Gewebe blutreich, weiß. Nieren in reichliches Fett gehüllt, von gewöhnlicher Größe, glatt, blutreich. Rinde und Mark deutlich geschieden. Harnblase leer. Pankreas mäßig blutreich. Im Magen reichlicher Speisebrei, Schleimhaut blutreich. Im Dünndarm galliger Brei, Schleimhaut ziemlich blutreich. Im Dickdarm etwas breiiger brauner Kot, Schleimhaut gallig durchtränkt.

Gutachten: Der Untersuchte litt an Arteriosklerose, namentlich der Koronararterien, und Herzhypertrophie und ist an Herzlähmung infolge von fettiger Entartung des Herzfleisches eines natürlichen Todes gestorben.

Die Quartiergeberin des Verstorbenen, Marie Demal, IV., Waaggasse 13, III. Stock, Tür 15, bei welcher der Verstorbene lange Zeit gewohnt, in deren Geschäft er durch viele Jahre als Bürstenbinder gearbeitet hat und die den Verstorbenen seit seinem 16. Lebensjahre kannte, gibt folgendes an: Friedrich Welsch ist der Sohn eines Arztes aus Wieselburg. Von vier Kindern (drei Brüdern und einer Schwester) waren zwei Brüder von Geburt taubstumm, ein Bruder und die Schwester ohrnormal. Die Schwester lebt und ist gesund, der taubstumme Bruder ist vor vielen Jahren gestorben. Der normalhörende Bruder starb vor vier Jahren an einer der D. nicht bekannten Krankheit. Friedrich Welsch selbst hat laut vorliegendem Zeugnis von Oktober 1868 bis Juni 1876 Erziehung und Unterricht als Internzögling des allgemeinen österreichischen israelitischen Taubstummeninstitutes erhalten und hat das Institut mit gutem Erfolge absolviert. Im Alter von 16 Jahren verließ er das Taubstummeninstitut, trat als Lehrbursche in das Bürstenbindergeschäft der Eltern der Frau Demal ein und hat vom 16. bis 52. Lebensjahre in der Familie der Frau Demal gelebt.

Er war von Geburt taub, hat nichts gehört, hat niemals Schwindel oder Gleichgewichtsstörungen gezeigt. Als er 16 Jahre alt zu den Leuten als Lehrbursche kam, hat er noch gut gesehen, später wurde sein Augenlicht immer schlechter; er hat ein sogenanntes Tigerauge gehabt und wurde auf der Klinik von Prof. v. Arlt behandelt, er trug keine Augengläser. Beide Augen waren überaus unruhig und haben sich fortwährend hin und her bewegt. Friedrich Welsch war hellblond. An die Farbe der Iris kann sich die Frau nicht erinnern. Er hat immer schlechte Zähne gehabt und hat in den späteren Lebensjahren die Haare verloren. Während der letzten Jahre konnte er infolge des schlechten Sehvermögens nicht mehr lesen und gerade nur hell und dunkel unterscheiden. Ursprünglich besaß er eine schöne Schrift und konnte auch tadellos lesen. Seit der Abnahme des Sehvermögens war ihm jedoch das Schreiben schwer, er schrieb eine Zeile in die andere. Als er als Lehrbursche eintrat, hat er gut und deutlich gesprochen. Allmählich hat er jedoch die Zeichensprache bevorzugt. Seine Umgebung verständigte sich mit ihm gewöhnlich dadurch, daß sie einfache Fragen mit dem Finger auf die Stirne, die Hand oder die Arme schrieb. Auf diese Fragen hat er mit Lallen oder Zeichen reagiert.

Makroskopischer Befund: Im rechten äußeren Gehörgang eine geringe Menge mißfarbiger Flüssigkeit. Beide Ohrmuscheln und linker Gehörgang normal. In der linken Trommelhöhle reichliche Bindegewebsbrücken. Rechte Trommelhöhle makroskopisch unverändert. Beide Warzenfortsätze sklerotisch. Keine nachweisbaren Veränderungen am Felsenbein. Innerer Gehörgang normal, Nervus octavus im

inneren Gehörgang mittelgradig atrophisch. Mittelohr und Labyrinth werden in situ belassen. Das Tegmen tympani wird abgetragen, der ganze Block tunlichst verkleinert, der obere Bogengang wird mit dem Skalpell eröffnet. In den inneren Gehörgang und in den Saccus endolymphaticus werden einige Tropfen einprozentiger Osmiumsäure injiziert und sodann das Objekt in zehnprozentigem Formalin fixiert. An der Eintrittstelle in den Hirnstamm ist der Nervus octavus von normaler Dicke. Hirn und Hirnstamm makroskopisch ohne Veränderungen.

Mikroskopischer Befund.

Äußeres Ohr: R. und l. normal.

Mittelohr: Beide Trommelfelle gegenüber der Norm verdickt, und zwar durch Zunahme der Lamina propria. So sind besonders die Radialfasern in ihrem peripheren Teil massiger angeordnet als in der Norm. Die Mittelohrschleimhaut ist normal. Die Gehörknöchelchen und ihre Gelenkverbindungen sind normal. Auffallend sind jedoch die ausgedehnten Knorpelreste in den Gehörknöchelchen sowie das Vorhandensein umfangreicher knorpeliger Bezirke im Bereiche des Hammer-Amboßgelenkes (Taf. I, Fig. 1). Auch der Hammergriff weist reichliche Knorpelanteile auf. Beide Steigbügel sind in ihrer Gestalt und Größe normal. Der linke Steigbügel zeigt an der tympanalen Seite seiner Platte, und zwar in der Mitte derselben gelegen, eine leistenförmige, aus Knochen bestehende Erhebung (Taf. I, Fig. 3). In der rechten Trommelhöhle vereinzelte Bindegewebsbrücken. Beide Tuben normal. Die Warzenfortsätze sind zum größten Teil sklerotisch und zeigen sonst keinerlei Veränderungen. Der Fazialkanal ist dehiszent (Taf. I, Fig. 2).

Knöcherne Innenohrkapsel: In Gestalt und Größe normal. Auffallend sind die weiten knorpeligen Bezirke, in welchen jede Verknöcherung ausgeblieben ist (Taf. I, Fig. 5 und 6). Im Bereiche der Schnecke entsprechen die Knorpelinseln in ihrer Lage zum Teil denjenigen, die man typisch an jungen Individuen oder an Neugeborenen findet. An einzelnen Stellen ist jedoch die Labyrinthkapsel noch an der den perilymphatischen Räumen zugekehrten Fäche knorpelig. Solche Stellen finden sich sowohl im Vorhof als auch insbesondere an der Schnecke, so daß das Ligamentum spirale besonders in den höheren Windungen teilweise an Knorpelflächen inseriert (Taf. I, Fig. 5 und 6). Die beiden Aquaeducte sind normal. Ein leerer Spaltraum von ungefähr 2·5 *mm* Länge und 80 μ Breite erstreckt sich vom Boden des linken inneren Gehörganges gegen die Schneckenbasis (Taf. I, Fig. 4). Die Steigbügel-Vorhofverbindung zeigt keinerlei Veränderung. Die Nische des Schneckenfensters ist enger als in der Norm. Die Membrana tympani secundaria ist dicker als gewöhnlich (50 μ gegenüber 15 μ der Norm). Eine kleine Nische ist mit Fett ausgefüllt (Taf. IV, Fig. 23). Die Membran des runden Fensters gabelt sich an ihrer Basis, wie wir dies bei manchen höheren Säugern, vor allem bei den Rodentieren, finden. Im basalen Teil der Membran sind eine größere Anzahl von Drüsenschläuchen nachweisbar. die in ihrer Gesamtheit im Querschnitt an acinöse Drüsen erinnern (Taf. IV, Fig. 23).

Das perilymphatische Labyrinth und die perilymphatischen Räume beider Seiten erweisen sich durchaus normal. Das perilymphatische Gewebe ist auffallend dürftig entwickelt, wie es dem höheren Alter des Individuums entspricht. Das Labyrinth ist blutgefäß- und pigmentarm, doch sind besonders in der Schneckenachse die typischen verästelten, pigmentführenden Bindegewebszellen nachweisbar.

Wandung der arteriellen Gefäße im inneren Gehörgang verdickt, hyalin degeneriert. In der Tiefe des inneren Gehörganges um und im Nervus cochleae reich geschlängelte Kapillaren. Im oberen Teil des inneren Gehörganges, besonders um den Nervus vestibularis, frische Blutextravasate. Wandungen der endolabyrinthären Blutgefäße unverändert.

Häutiges Labyrinth: Beide Körperseiten ergeben einen im wesentlichen übereinstimmenden Befund. Wo daher in der Beschreibung nicht ausdrücklich die rechte oder linke Seite genannt sind, beziehen sich die Befunde auf beide Labyrinthe.

Pars superior: Bogengänge, Ampullen und Cristae ampullares gestaltlich normal. Die starke Vergrößerung ergibt das Vorhandensein einzelner klobiger Haarfortsätze und Reste der Cupulae,

dagegen ist das Sinnesepithel vollständig degeneriert (Taf. IV, Fig. 26). Die ampullaren Nerven sind gegenüber der Norm verdünnt. Der Utriculus zeigt normale Gestalt, die Macula utriculi normale Ausdehnung. Auch hier ist das Sinnesepithel degeneriert und weist rundliche Lücken auf (Taf. I, Fig. 7). Die Stützzellen sind reichlich vorhanden. Über dem Neuroepithel findet sich eine netzförmige Statolithenmembran (Taf. I, Fig. 7). Auch Statolithen sind in dünner Schichte nachweisbar (Taf. I, Fig. 7).

Im Neuroepithel der Cristae namentlich am Rande mehrfach große Epithellücken und Epithelmetaplasien von Zystenform. Die Zysten liegen in der Höhe des Neuroepithels und sind von einem anscheinend kolloiden Inhalt erfüllt (Taf. IV, Fig. 26). Im Innern der Cristae trifft man vielfach grobe Gefäßschlingen. Das Vorhandensein solcher Gefäßschlingen in den Cristae (Taf. IV, Fig. 26), sowie auch im Ligamentum spirale und in der Striaregion deutet auf eine embryologische Unterentwicklung.

Pars inferior: Der Sacculus und der Ductus reuniens sind gestaltlich normal, der letztere mündet wegsam in den Ductus cochlearis. Ductus und Saccus endolymphaticus und Canalis utriculo-saccularis entsprechen der Norm. Die Macula sacculi ist von normaler Größe, zeigt dieselben histologischen Abweichungen wie die Macula utriculi. Im perilymphatischen Gewebspolster des Sacculus vereinzelte, solide, aus großen, knorpelähnlichen Zellen zusammengesetzte Zapfen (Taf. IV, Fig. 24).

Schnecke: Ductus cochlearis in seiner ganzen Länge wegsam, jedoch durch Abwärtssinken der Membrana vestibularis überall gegenüber der Norm verengt (Taf. II, Fig. 9 bis 13). Die Verengung ist im Vorhofteil der Schnecke und in der Basalwindung verhältnismäßig gering, nimmt kontinuierlich gegen die Spitze zu und erreicht daselbst ihren Höhepunkt in der Form, daß die Membrana vestibularis der Crista spiralis und der oberen Fläche der Corti'schen Membran vollkommen anliegt und auch im übrigen der Basalwand und der Außenwand des häutigen Schneckenkanals sich fast bis zur Berührung nähert.

Membrana basilaris: Substantia propria dünn, auffallend zart, tympanale Belegschichte stellenweise dürftig entwickelt, jedoch nirgends gänzlich fehlend.

Das Corti'sche Organ fehlt im Vorhofteil der Schnecke und im unteren Teil der Basalwindung vollständig. Als einziger zelliger Bestandteil erscheint in diesem Gebiete eine dünne Membran, die sich aus großen, flachen Zellen zusammensetzt und entweder der Substantia propria anliegt oder, von ihr getrennt, isoliert durch den endolymphatischen Raum verläuft (Taf. II, Fig. 9*a*). Sie geht einerseits in den Sulcus spiralis internus über und endet an der oberen Lippe der Crista spiralis, andrerseits reicht sie bis an die Prominentia spiralis. Von der Prominentia spiralis nach aufwärts erstreckt sich die Zellschicht sodann in die die Stria vascularis darstellenden Zellverbände. Im oberen Teil der Basalwindung wird das Corti'sche Organ im Querschnitt in der Gestalt eines kleinen Zellhügels nachweisbar. Derselbe besteht zum Teil aus polyedrischen Zellen, die, ohne Zwischenräume aneinandergeschlossen, den Hügel formieren, teilweise jedoch auch aus hochzylindrischen Zellen, die, palissadenförmig angeordnet sind. Axial und peripher von den Zellhügeln erstrecken sich niedrige Epithelzellen bis in den Sulcus spiralis internus und externus. Der konvexe Rand des Zellhügels ist größtenteils glatt, doch finden sich an einzelnen Stellen halbkugelige Vorragungen, die als Mazerationserscheinungen aufgefaßt werden müssen. An einzelnen Stellen sind Zapfen sichtbar, welche als mißstaltete Haarfortsätze gedeutet werden können und mit der Membrana tectoria kontinuierlich verbunden sind (Taf. III Fig. 14). An anderen Stellen sind ovoide Hohlräume im Papillenrudiment zu sehen (Taf. III, Fig. 14*a*).

In der Mittelwindung hat der der Papilla basilaris entsprechende Zellhügel an Ausdehnung zugenommen, so daß im axialen Querschnitt annähernd die Querschnittsgestalt der normalen Papille erreicht wird, doch zeigt sich der Zellhügel auch hier aus indifferenten Stützzellen zusammengesetzt (Taf. III, Fig. 15 bis 17). Das normale Kanalsystem der Papille fehlt auch hier vollständig. Im oberen Teile der Mittelwindung erinnert die Anordnung der Zellen in dem Zellhügel sehr an die embryonale Papille, wobei besonders der mediale Epithelwulst, eventuell auch Reste der vertikal stehenden Pfeiler erhalten erscheinen (Taf. IV, Fig. 22): Haarfortsätze sind in diesem Bereiche der Schnecke in Spuren

oder überhaupt nicht nachweisbar. In der Spitzenwindung ergibt sich gleichfalls eine an die Norm nahe erinnernde Querschnittsgestalt der Papille; sie läßt hier auch in ihrem axialen Viertel einen ziemlich weiten Kanal erkennen, der axialwärts von langen Protoplasmakörpern begrenzt ist (Taf. II, Fig. 13*a*). Diese Zellkörper reichen einerseits bis an die Membrana basilaris, andrerseits bis an die obere Fläche der Papille, biegen dort peripherwärts um und laufen mit einer Art von Endplatte peripherwärts aus. Im übrigen Teil der Papille sind keinerlei Hohlräume nachweisbar, doch ähneln die vorhandenen Zellen sehr dem Typus der Deiters'schen Stützzellen, die infolge des Fehlens der Haarzellen ohne Zwischenraum aneinandergeschlossen stehen. Durch den erwähnten Hohlraum erstrecken sich zwei variköse Fädchen, die wohl als Reste von nervösen Primitivfasern der Papille angesprochen werden müssen.

Die Cortische Membran zeigt im ganzen Ausmaß der Schnecke die übliche Form und Größe. Im Vorhofteil und im unteren Teil der Außenwindung erstreckt sie sich frei in den endolymphatischen Raum, in der übrigen Schnecke liegt sie der Oberfläche des Papillenäquivalents an, in der Mittelwindung ist das periphere Ende und der periphere Teil der Unterfläche der Corti'schen Membran mit der Oberfläche der Papille verbunden. Es handelt sich hier zum Teil um eine Verklebung, an einzelnen Stellen sicher um eine faserige Verbindung.

Die Membrana vestibularis ist schon im Vorhofabschnitt und im unteren Teil der Basalwindung ein wenig gegen die Basilarmembran abgesunken, weiterhin nimmt die Abwärtssenkung zu, sie erreicht ihren höchsten Grad an der Spitzenwindung, wo die Membrana vestibularis der Corti'schen Membran und der Membrana basilaris eng angeschlossen verläuft und ein endolymphatischer Raum nur als schmaler Spalt zwischen Vestibularmembran und Außenwand des Schneckenkanals übrigbleibt (Taf. II, Fig. 12).

Das Ligamentum spirale zeigt überall normale Form und Ausdehnung.

Die Stria vascularis ist nirgends in normaler Konfiguration nachweisbar. Im Vorhofabschnitt und im unteren Teil der Basalwindung fehlt sie gänzlich. Höher oben ist sie in Form eines bindegewebigen schmalen Streifchens nachweisbar, das gegen das endolymphatische Lumen von äußerst flachen Zellen gedeckt ist. Die innige Durchwachsung der epithelialen und bindegewebigen Anteile, welche zur normalen Stria vascularis führt, ist gänzlich ausgeblieben. In der Mittel- und Spitzenwindung ist die Stria gleichfalls entweder in Form eines schmalen Bandes (Taf. III, Fig. 20) oder in Form eines nur aus lockeren Bindegewebszellen zusammengesetzten Hügelchens (Taf. III, Fig. 19) erkennbar. An einzelnen Stellen sind in der Striagegend weit vorspringende, ovale Zysten nachweisbar; dieselben sind von einer dünnen Epitheldecke umschlossen und besitzen einen Inhalt, der eine schwach eosinrote, unregelmäßige oder faserige Struktur erkennen läßt. Kerne sind darin nicht nachweisbar. In der Spitzenwindung selbst fehlt die Stria gänzlich. Blutgefäße sind nirgends in der Stria nachweisbar, auch das Vas prominens der Außenwand des Schneckenkanals fehlt. Auffallend ist jedoch, daß die Prominentia spiralis trotzdem überall vorhanden erscheint, in ihr ist zum Teil auch ein kernarmes, feinfaseriges, lockeres, bindegewebiges Maschenwerk nachweisbar. Das Ligamentum spirale ist blutgefäßarm, nur an einer Stelle erstreckt sich eine auffallend große Vene in die Gegend der hier fehlenden Stria vascularis (Taf. III, Fig. 18). Der Sulcus spiralis externus ist meist vorhanden, zum Teil von einem Plattenepithel ausgekleidet (Taf. IV, Fig. 25).

Nervenganglienapparat: Beide Nervi faciales sind normal. Beide Octavi weisen in allen Teilen eine atrophische Verdünnung auf. Die Atrophie zeigt in dem vestibularen Teil des Nerven nur einen mäßigen Grad, so daß sowohl die Nervenäste der Vorhofsäcke als die der Ampullen ungefähr dreiviertel des normalen Umfanges aufweisen. Allerdings sind auch im erhaltenen Teil der Nerven die Fasern lockerer angeordnet als sonst. Nach dem färberischen Verhalten als funktionsuntüchtige Fasern erkennbare Anteile sind nicht vorhanden. Beide Vestibularganglien sind gleichfalls ungefähr Dreiviertel der normalen Größe verkleinert. Ihre Nervenzellen sind normal.

Der Nervus cochleae weist im Labyrinth und im inneren Gehörgang einen hohen Atrophiegrad auf, desgleichen das Ganglion spirale (Taf. IV, Fig. 21). Am einzelnen Querschnitt sind statt 50 bis 80 Zellen nur 6 bis 15 sichtbar, dadurch ergeben sich große Hohlräume, die leer sind oder wenige, spinnwebenartig verästelte Bindegewebszellen beherbergen. Die vorhandenen Nervenzellen des Ganglion spirale sind durchaus atrophisch, sie zeigen die Hälfte oder ein Viertel der normalen Größe. Viele dieser Zellen sind von einer kernhaltigen Bindegewebskapsel umgeben, manche von einer kernlosen. Das Protoplasma der Ganglienzellen zeigt reichlich krümmelige Einschlüsse. Funktionstüchtig aussehende Ganglienzellen sind im Spiralganglion nirgends zu sehen. Es sind vielmehr durchaus Ganglienzellenschatten, die noch erhalten sind. Peripher vom Ganglion spirale sind einzelne Faserzüge erhalten. Der Achsenzylinder ist zugrunde gegangen, die Markscheiden sind dünn, vielfach segmentiert. Im Bereiche des Corti'schen Organs selbst fehlen die Nervenfasern fast durchaus. Nur im oberen Teil der Mittelwindung sind noch in einem Kanal der Corti'schen Papille variköse Fädchen nachweisbar. Bei Markscheidenfärbung ergibt sich im ganzen Bereiche des Nervus cochlearis Degeneration der Markscheiden. An einer Stelle der Basalwindung des linken Labyrinths ist der Spaltraum zwischen den beiden Blättern der Lamina spiralis und der Nervenkanal in der Schneckenachse von reichlicheren, allerdings durchaus degenerierten Faseranteilen des Schneckennerven durchzogen (Taf. IV, Fig. 21). Die gefärbten Elemente erweisen sich hierbei als Reste der Markscheiden. Achsenzylinder sind darin nicht vorhanden. Im inneren Gehörgang ist der Nervus cochlearis fadendünn, an der Eintrittsstelle in den Hirnstamm nimmt er rasch an Dicke zu. Corpora amylacea sind im Nervus cochlearis nicht nachweisbar.

Zusammenfassung der Befunde.

1. Bindegewebsbrücke in der linken Trommelhöhle.
2. Sklerosierung beider Warzenfortsätze.
3. Beide Trommelfelle dicker als normal durch Massenzunahme der Substantia propria; starke Fettdurchwachsung des Musculus tensor tymp.
4. Ausgedehnte knorpelige Zonen in den Gehörknöchelchen.
5. Dehiszenz des Canalis facialis.
6. Exostosen am linken Steigbügel.
7. Ausgedehnte knorpelige Anteile in der Labyrinthkapsel mit flächenhaften Knorpelinseln an den Schneckenwänden und am Vorhof.
8. Spaltbildung im Boden des linken inneren Gehörgangs.
9. Gegenüber der Norm bedeutend verdickte Membran des Schneckenfensters.
10. Gabelung der Membran des Schneckenfensters im basalen Anteil (Rodentiertypus).
11. Drüsenschläuche vom Typus acinöser Drüsen in der Membran des Schneckenfensters.
12. Teilweise Ausfüllung der Nische des Schneckenfensters mit Fettgewebe bei mäßiger Verengung der Nische.
13. Substanzarmut des perilymphatischen Gewebes.
14. Pigmentarmut des gesamten Innenohres.
15. Pars superior des häutigen Labyrinths gestaltlich normal.
16. Hochgradiger Ausfall der Sinneszellen in den Cristae ampullares bei in Resten vorhandener Cupula. Grobe Gefäßschlingen in den Cristae.
17. Mittelgradige Atrophie der Rami ampullares und vestibulares.
18. Bedeutender Ausfall von Sinneszellen an der Macula utriculi und Macula sacculi mit Lückenbildung im Neuroepithel. Netzförmige Statolithenmembran. Statolithen vorhanden.
19. Ductus endolymphaticus in eine Anzahl, zum Teil obliterierter Kanälchen aufgelöst.
20. Saccus endolymphaticus normal.
21. Aus großen, knorpelähnlichen Zellen zusammengesetzte Zapfen im perilymphatischen Gewebspolster des Sacculus.

22. Sacculus gestaltlich normal.

23. Ductus reuniens wegsam.

24. Einengung des Ductus cochlearis durch Einbuchtung der Vestibularmembran gegen die Basilar- und Außenwand. Diese Veränderung, an der Schneckenbasis nur gering, nimmt gegen die Schneckenspitze, wo sie den höchsten Grad erreicht, zu.

25. Basilarmembran auffallend dünn, tympanale Belegschicht erhalten.

26. Vollkommenes Fehlen der Papilla basilaris im Vorhofteil und im unteren Teil der Basalwindung. Ersatz derselben durch eine platte, zum Teil von der Basilarmembran abgehobene Zellage.

27. In der Mittel- und Spitzenwindung Papilla basilaris in Form eines Stützzellhügels erhalten, der im oberen Teil der Mittelwindung embryonalen Typus zeigt.

28. Kanalsystem der Papilla basilaris fehlend, nur an wenigen Stellen kleine zystenähnliche Hohlräume.

29. Membrana tectoria normal, freiendend oder mit dem Papillenrudiment verbunden.

30. Hochgradige Einengung des endolymphatischen Raumes in der Spitzenwindung und in der Kuppe durch Absinken der Membrana vestibularis auf die Basalwand und auf die Außenwand.

31. Ligamentum spirale normal.

32. Defekt der Stria vascularis, grobe Gefäßschlingen und Zystenbildung im Gebiete der Stria vascularis.

33. Mittelgradige Atrophie (Hypoplasie) der Äste und peripheren Ganglien des Nervus vestibularis und seiner beiden Wurzeln im inneren Gehörgang. An der Eintrittsstelle in den Hirnstamm verdicken sich die beiden hypoplastischen Wurzeln (Ramus anterior und Ramus posterior) rasch zu normaler Querschnittsdicke.

34. Beide Vestibularganglien wie in der Norm durch einen Ganglienzellzug miteinander verbunden.

35. Höchstgradige Atrophie des Nervus cochlearis und des Ganglion spirale. Keine Corpora amylacea. An der Eintrittsstelle in den Hirnstamm verdickt sich der Nervus cochlearis rasch bis zur normalen Querschnittsdicke.

36. Wandverdickung und hyaline Degeneration der Arterien im inneren Gehörgang. Anhäufung reich geschlängelter Kapillaren im Nervus cochleae in der Tiefe des inneren Gehörganges.

Nach den recht genauen Daten der Anamnese repräsentiert unser Fall die kongenitale, mit Amblyopie und allgemeiner Pigmentarmut verbundene Taubheit. Es entspricht der gewöhnlichen Erfahrung, daß in solchen Familien neben taubstummen auch hörende Kinder, sehr häufig sogar in der gleichen Anzahl vorkommen; so war es auch im vorliegenden Falle: Von vier Kindern waren zwei kongenital taub, zwei hörten normal. Es wird ausdrücklich hervorgehoben, daß der Taubstumme hellblond war und Sehstörungen hatte. Die Sehstörungen sind unzweifelhaft auf Pigmentdegeneration der Retina (Retinitis pigmentosa, Tigerauge) zurückzuführen. Mit dem Satze: »Beide Augen waren überaus unruhig und haben sich fortwährend hin- und herbewegt« ist jedenfalls der bei diesen Degenerierten typisch vorhandene, sogenannte kongenitale Nystagmus gemeint. Im Laufe der Jahre hat das Sehvermögen allmählich abgenommen, bis nur mehr hell und dunkel unterschieden werden konnte.

Der Taubstumme W. besaß keinerlei Hörreste, hat das Taubstummeninstitut mit gutem Erfolg absolviert. Es wird ausdrücklich angegeben, daß er, als er als Lehrbursche in das Geschäft eintrat, gut und deutlich gesprochen hat. Man konnte sich mit ihm gut verständigen, er hat vorzüglich abgelesen. Mit der Zunahme der Sehstörung wurde das Ablesen unmöglich, damit ging das Artikulieren verloren und, da W. späterhin auch die gewöhnliche Zeichensprache mit den Augen nicht mehr richtig erfassen konnte, so erfolgte schließlich die Verständigung mit seiner Umgebung durch eine Handtastsprache, wie sie bei Taubblinden üblich ist.

Lues kommt in ätiologischer Beziehung nicht in Betracht. Bei der Koinzidenz von Augen- und Ohrstörungen im vorliegenden Falle handelt es sich um jene Konstitutionsanomalie, die mit hereditär-

degenerativer Taubheit nicht selten verbunden ist, nämlich Pigmentarmut und Amblyopie. Gegen Lues spricht, daß Taubheit ohne Hörreste von vornherein bestand und auch bei einem Bruder kongenitale Taubheit vorlag, endlich auch die Art des Augenleidens. Allerdings wird angegeben, daß das Augenleiden behandelt worden ist. Es sind jedoch keinerlei Anhaltspunkte dafür vorhanden, daß es sich um eine *Keratitis parenchymatosa* gehandelt hat.

Über die Aszendenz unseres Taubstummen ließ sich nichts erfahren. Die Frage, ob es sich um Konsanguinität der Eltern gehandelt hat, bleibt infolgedessen offen. Für die Stellung des Falles in der Literatur, beziehungsweise seine gruppenmäßige Einteilung hat dies nichts zu bedeuten, da ihm durch die übrigen ausführlichen und verläßlichen Daten der Anamnese der vollkommen richtige Platz innerhalb der verschiedenen Formen der kongenitalen Taubheit angewiesen ist. Es handelt sich um die typische, hereditär-degenerative, mit Amblyopie und Pigmentarmut verbundene, kongenitale Taubstummheit. Ich muß es mir versagen, auf den Vergleich der vorliegenden Befunde mit den in der Literatur vorhandenen von kongenitaler Taubheit einzugehen; hierzu wird sich in späterer Zeit Gelegenheit bieten. Wichtig erscheint mir die einheitliche Zusammenfassung und Gruppierung der Befunde selbst.

Der Befund der Bindegewebsbrückenbildung in der linken Trommelhöhle muß bei dem vollkommenen Fehlen irgendwelcher florider oder abgelaufener Entzündungserscheinungen als Bildungsanomalie bezeichnet werden. Sie folgt aus einer unvollständigen Resorption des die embryonalen Mittelohrräume ausfüllenden mesodermalen Schleimgewebes und der Umwandlung der embryonalen Bindegewebszellen in bleibendes Bindegewebe. Wittmaack (28) hat in einer umfassenden Untersuchung die Bedeutung des normalen Ablaufes der Pneumatisation des Mittelohres dargelegt.

In der Sklerosierung der Warzenfortsätze ist wohl eine Alterserscheinung zu erblicken, die nur Teilerscheinung einer allgemeinen Verdichtung der Schädelknochen gebildet hat. Ein besonderes Interesse erhält jedoch dieser Befund durch die Tatsache, daß die Verdichtung des Knochengewebes im Bereiche des Mittelohres mit der Persistenz eines geradzu infantilen Typus der knöchernen Innenohrkapsel verbunden gewesen ist. Die Ausbildung und die Persistenz der knorpeligen Interglobularräume wechselt. Sie können sich sicher bis in höheres Alter erhalten. Die Persistenz von ausgedehnten Knorpelanteilen in der knöchernen Labyrinthkapsel bis zum 52. Lebensjahr beinhaltet jedoch entschieden den infantilen Typus der Labyrinthkapsel. Ja noch mehr, es finden sich in der Labyrinthkapsel Knorpelherde von einem Ausmaße, wie sie normalerweise nicht einmal an Kindern zu beobachten sind. Schon am Embryo beginnt die Verknöcherung des Felsenbeines von zwei Seiten her. Am frühesten verknöchern die den Labyrinthflächen zugekehrten Knochenflächen, später die der Oberfläche des Felsenbeines zugewendeten Teile. Zwischen beiden bleiben zunächst Knorpelschichten zurück, die allmählich immer kleiner, von Knochen substituiert werden. Schon am Neugeborenen sind die Labyrinthräume selbst gewöhnlich fast vollständig von Knochen umschlossen. In unserem Falle reichen nun Knorpelinseln bis an die Labyrinthräume selber heran, es ist also in embryonaler Zeit eine Störung der Verknöcherung der Labyrinthkapsel eingetreten und die Anomalie der Persistenz der Interglobularräume bis in das Alter von 52 Jahren ist mit einer Hemmung des Verknöcherungsprozesses der knorpeligen Labyrinthkapsel überhaupt verbunden. Den Befund zahlreicher knorpelhaltiger Interglobularräume an einem 40jährigen kongenital taubstummen Individuum erwähnt auch Denker (6). Wie in der Labyrinthkapsel ist auch in den Gehörknöchelchen die Verknöcherung gehemmt worden; dieselben haben sich zwar zu normaler Größe entwickelt, zeigen jedoch an verschiedenen Stellen ausgedehnte knorpelige Anteile. Gegen den überragenden Befund der Knorpelpersistenz in der Labyrinthkapsel und in den Gehörknöchelchen treten zwei andere Befunde an den Knochenteilen des Gehörorgans unseres Falles, da sie nur an einer vereinzelten Stelle auftreten, in den Hintergrund: die Exostosenbildung im linken Steigbügel und die Spaltbildung im Knochen des linken inneren Gehörganges. Beide Befunde zeigen so recht das vollkommen Unregelmäßige in den Einzelbefunden kongenitaler Mißbildungen. Die Hohlraumbildung im Boden des inneren Gehörganges ist interessant, weil hier inmitten eines vollständig fertig entwickelten Knochens ohne irgend eine erkennbare mechanische Ursache eine Verflüs-

sigung des Gewebes bis zum vollständigen Schwund und Ergebnis eines Hohlraumes stattgefunden hat. Die Exostosenbildung im linken Steigbügel ist bemerkenswert, weil sie im vorliegenden Falle die einzige Abnormität der im übrigen gestaltlich vollkommen normal entwickelten Gehörknöchelchen bildet. Über eine vestibularwärts gerichtete Crista der Steigbügelplatte berichtet Nager (16). Von einer »Rarefikation« der Steigbügelplatte in einem Falle von kongenitaler Taubheit spricht Schönemann (20).

Übereinstimmende Veränderungen zeigen die Membranen des Mittelohres. Auch diese Veränderungen entsprechen wie die flächenhaften Knorpelreste in der Labyrinthkapsel der Persistenz eines embryonalen oder infantilen Gehörorgantypus. Sowohl das primäre als das sekundäre Trommelfell erhalten ihre normale Dünne und Schwingungsfähigkeit durch die ideale Resorption des mesodermalen Bindegewebes ihrer Umgebung: des Schleimgewebes der Trommelhöhle und des perilymphatischen, die Scala tympani füllenden Bindegewebsnetzes. In manchen Fällen von Hemmungsbildung läßt sich zeigen, daß diese Resorption unvollständig erfolgt; so fand ich kürzlich am Gehörorgan eines Hundekretins[1] Bindegewebe im blinden Ende der Scala tympani. Ebenso ist das Vorhandensein einer Bindegewebsbrücke in der linken Trommelhöhle unseres Falles auf einen schleppenden und nicht bis zum normalen Ende fortgesetzten Verflüssigungsprozeß des embryonalen Bindegewebes der Trommelhöhle zurückzuführen. Im übrigen ist im vorliegenden Falle die Bindegewebsresorption normal verlaufen. Die restierenden Membranen haben jedoch eine besondere Dicke beibehalten, die sich im physiologischen Sinne gewiß in Form einer gewissen Rigidität beziehungsweise Unfähigkeit der Schallübertragung äußern muß. Es sei dabei bemerkt, daß die pathologische Dicke des primären Trommelfells nicht durch die Epidermisschicht, sondern durch die besondere Dicke der Substantia propria hervorgerufen ist. Die Epidermisschicht, die normalerweise am Kinde dicker ist als am Erwachsenen, ist in unserem Falle von normaler Höhe.

Während im Gebiete des primären Trommelfells die abnorme Dicke die einzige Abweichung von der Norm bildet, sind in der Membran des Schneckenfensters und in der Fensternische noch andere Veränderungen zu finden. Die Membran streicht nach abwärts in zwei Lippen aus, ihre Fläche wird dadurch größer, als es normalerweise an der menschlichen Membrana tympani secundaria der Fall ist. Es ergeben sich dann auch Schnitte, an welchen die Membran zweimal getroffen erscheint und beide Abschnitte der Membrana tympani secundaria durch eine Knochenleiste, an welcher sie inserieren, voneinander getrennt sind. In diesem Befunde handelt es sich um eine Mißbildung, in welcher an diesem menschlichen Gehörorgan ein anderer Säugertypus zum Durchbruch kommt: der Rodentiertypus.

Vollkommen in das Gebiet der Mißbildung gehört endlich der Befund von drüsenähnlichen Schläuchen in dem sehr dicken basalen Anteil der Membrana tympani secundaria. Drüsenähnliche Einsenkungen sind in der Schleimhaut der Trommelhöhle, besonders in der Schleimhaut des Hypotympanum häufig zu finden, wirkliche Drüsen fehlen jedoch. Mitunter ist besonders am Kinde in Fällen von Hypertrophie des übrigen lymphadenoiden Gewebes auch Anhäufung lymphadenoiden Gewebes im Hypotympanum nachweisbar. Auch in diesem Gewebe sind jedoch Drüsenschläuche nicht zu finden. Es handelt sich bei der Ausbildung von Drüsenschläuchen in der Membran des runden Fensters um eine Mißbildung, die in bezug auf die Gewebsgattung keinerlei Analogie im normal entwickelten Mittelohr besitzt.

Der Befund von Fettgewebe in der Fensternische eines Taubstummen ist nicht neu. Auf Fettfüllung der Nische des Schneckenfensters haben zuerst Politzer (18), später Siebenmann (21) aufmerksam gemacht. Weiterhin ist er in mehreren Fällen der Literatur erhoben worden, als besonders typisch hat

[1] Die Durchsicht einer Anzahl Serien von Gehörorganen normaler Hunde zeigte mir allerdings, daß auch an normalen Hunden nicht selten Bindegewebsreste im Blindende der Scala tympani vorgefunden werden. Die Frage wird später an größerem Material studiert werden.

er für das Gehörorgan bei kretinischer Taubstummheit und bei kretinischer Schwerhörigkeit zu gelten. Er scheint in unserem Falle mit vermehrter Fetteinlagerung und fettiger Degeneration des Musculus tensor tympani verbunden zu sein, dessen normaler Fettgehalt zuerst von E. Zuckerkandl (29) beschrieben worden ist. Neuerdings hat Oppikofer (17) diese Frage studiert: er hat an den Serien von 234 Individuen in 16% der Fälle Fett in der Fensternische gefunden, darunter auch bei Ohrnormalen. Oppikofer hält nur bei gleichzeitiger Verengung der Fossula fenestrae cochleae das Lipom der Fossula für eine für die kongenitale Schwerhörigkeit oder Taubheit charakteristische Veränderung. Der Musculus stapedius unseres Falles ist in sehr geringem Grade bindegewebig degeneriert, im Querschnitt fast normal.

Zusammenfassend läßt sich somit folgendes sagen: Das Mittelohr und die Labyrinthkapsel dieses Falles von hereditär-degenerativer kongenitaler Taubheit zeigen neben embryologischen Hemmungsbildungen Einzelveränderungen, die auf Persistenz eines infantilen Gehörorgantypus zurückzuführen sind, sowie eine Anzahl von freien Mißbildungen, d. h. Veränderungen, die in ihrer Genese mit dem normalen Entwicklungsgang oder dem normalen fertigen Bau des Gehörorgans nicht in Zusammenhang gebracht werden können. Daneben wird aber in der Sklerosierung beider Warzenfortsätze auch eine Altersveränderung, beziehungsweise der senile Typus aufgewiesen.

Die Substanzarmut des perilymphatischen Gewebes ist in Fällen von kongenitaler Taubheit nicht selten zu finden. Sie bezieht sich im vorliegenden Falle allerdings nur auf die freien Bindegewebsnetze der Pars superior, das perilymphatische Bindegewebspolster des Sacculus und das Ligamentum spirale waren dagegen normal entwickelt; besonders hervorgehoben muß der letzte Befund werden. An einem 52jährigen Menschen ist normalerweise eine verhältnismäßige Substanzarmut des Ligamentum spirale zu finden, die sich am Querschnitt als Lückenbildung ergibt und als Resultat hydropischer Degeneration gedeutet werden muß. Das vollkommene Erhaltensein des Ligamentum spirale an einem 52jährigen Individuum kann als Teilerscheinung des infantilen Typus des Gehörorgans aufgefaßt werden. In der Pigmentarmut des gesamten Labyrinths ist eine kongenitale Veränderung zu erblicken.

Wir gelangen nun zur Besprechung der Befunde am häutigen Innenohre selbst. Die Gestaltsentwicklung ist an demselben zum normalen Abschluß gelangt. Die Pars superior und ein Teil der Pars inferior ergaben die normale Querschnittsform, dagegen zeigt der Schneckenkanal ein verkleinertes, stellenweise nur noch in Resten erhaltenes, endolymphatisches Lumen. Hervorzuheben ist, daß die einzelnen Kanäle, durch welche alle endolymphatischen Räume miteinander zusammenhängen, wegsam erhalten sind. Es ist dies gerade an einem Taubstummen bei kongenitaler Taubheit selten und man könnte erwarten, daß schon infolge der Funktionslosigkeit des inneren Ohres die normale Saftströmung, durch die ja die Kanäle sicher ausgespannt erhalten bleiben, nicht statthat. Besonders zu erwähnen ist endlich die Wegsamkeit des Ductus reuniens. Dieser Befund am Taubstummenlabyrinth spricht mit Sicherheit gegen die Richtigkeit der Ansicht Schönemann's, daß am normalen Labyrinth des Erwachsenen der Ductus reuniens nicht wegsam sei.

In toto betrachtet, müssen die histologischen Veränderungen der Schnecke ihrem Grade nach als mäßige bezeichnet werden. Sowohl was die Defektbildung als auch die Gewebsverlagerung betrifft, zeigt der vorliegende Fall quantitativ weniger Veränderungen als andere Fälle von kongenitaler Taubheit.

Die neuroepithelialen Veränderungen sind auf die Nervenendstellen des gesamten Labyrinths ausgedehnt. Sie sind nach ihren grundlegenden Merkmalen identisch, dem histologischen Grade nach verschieden, jedoch überall so bedeutend, daß aus dem histologischen Bilde die Funktionslosigkeit aller Nervenendstellen gefolgert werden kann. In unserem Falle bestand sicher beiderseitige komplette Taubheit und beiderseitige labyrinthäre Unerregbarkeit. Die charakteristischen Veränderungen am Neuroepithel zeigen sich im Defekt der Sinneszellen bei Erhaltensein der Stützzellen. Die in den labyrinthären Endstellen noch enthaltenen degenerierten Haarzellen, beziehungsweise Haarzellreste

lassen nach ihrer Form ihre physiologische Funktionsuntüchtigkeit erkennen. In der Schnecke fehlen dagegen die Haarzellen vollständig, nur an einzelnen Stellen können an der Oberfläche des die Papilla basilaris repräsentierenden Zellhügels haarfortsatzähnliche Körper nachgewiesen werden, die mit der Papille und mit der Membrana tectoria verbunden sind. Ob aber in den den Papillenhügel formierenden Zellhaufen einzelne Zellen, wenn auch in durchaus mißstalteter Form, als Reste von Haarzellen gedeutet werden können, ist durchaus fraglich.

Das Schicksal der Stützzellen ist in den einzelnen Nervenendstellen ungleich. An den ampullaren und vestibularen Nervenendstellen sind sie mehr oder weniger in ihrer normalen Anzahl erhalten und meist in normaler Stellung geblieben; daraus ergeben sich am Neuroepithel durch den gleichzeitigen Ausfall der Haarzellen Lücken und Spalten, nur in einzelnen Regionen sind die Stützzellen aneinander gerückt und formieren nun, als Säulen nebeneinander stehend, ein palisadenförmiges Zylinderepithel, wie es normalerweise am haarzellenlosen Rand der labyrinthären Neuroepithelien zu finden ist. Verbildung der Cristae ampullares (mit Vorhandensein massiger Pigmentzellen) beschreibt auch Goerke (4).

Im basalen Anteil der Schnecke sind die Stützzellen ebenso wie die Haarzellen vollständig geschwunden, in den übrigen Teilen formieren sie einen Zellhügel, der in seiner Querschnittsgestalt mehr oder weniger an die Papilla basilaris erinnert. Im Stützzellhügel sind die Zellen an manchen Stellen unregelmäßig neben- und übereinander gelagert und zeigen polyedrische Formen, an anderen Stellen stehen sie reihenweise aneinander, fußen alle auf der Membrana basilaris und bilden ein palisadenförmiges Epithel. Das Hohlraum- und Kanalsystem, welches die normale Papilla basilaris durchzieht, fehlt entweder gänzlich oder ist (wie im oberen Teile der Mittel- und in der Spitzenwindung) in Form von unregelmäßigen, im Querschnitt ovalen oder kreisrunden Lücken noch nachweisbar. Verbildung der Papilla basilaris beschreibt auch Siebenmann (15, 16).

An den ampullaren und vestibularen Nervenendstellen ist normalerweise nur eine Stützzellgattung vorhanden; alle diese Zellen reichen von der Basis bis zur Oberfläche des Neuroepithels, alle haben annähernd Säulenform und sind nur in der Lage des Kerns voneinander unterschieden, der bald höher, bald tiefer gelegen ist und eine umschriebene Anschwellung des Zelleibs mit sich bringt. Diese Form der Stützzellen ist in unserem Falle auch beibehalten. In der Schnecke dagegen sind normalerweise sehr verschiedene Arten von Stützzellen vorhanden. Ich möchte deren drei Gruppen unterscheiden: 1. die Pfeilerzellen, 2. die Deiters'schen Stützzellen, 3. alle übrigen Stützzellgattungen. Die Pfeilerzellen sind in meinem Falle nirgends nachweisbar, nur in einem Teile der Mittelwindung ist ein steil gestelltes Zellpaar zu sehen, das an Gestalt und Färbbarkeit an die Embryonalanlage der Pfeilerzellen erinnert. Die Gestalt der Deiters'schen Stützzellen ist in einem Teil des Papillenrudiments noch nachweisbar, vor allem überall dort, wo in dem Papillenrudiment palisadenförmig angeordnete Zellen vorhanden sind. Die weit ausgedehnten Anteile, in welchen die Papillenrudimente nur polyedrische Zellen enthalten, entsprechen Teile der Stützzellen der dritten Gruppe. In dem Abschnitte des Papillenrudiments, in welchem neben palisadenförmig angeordneten Stützzellen auch noch ein Pfeilerrudiment zu finden ist, erinnert die Form des Papillenquerschnittes einigermaßen an die embryonale Papille mit innerem und äußerem Epithelhügel.

Die kutikularen Bildungen, durch welche das Nervenepithel des Labyrinths belastet wird, sind in allen Teilen des Neuroepithels erhalten. So sind an den drei ampullaren Nervenendstellen die Cupulae nachweisbar, an den beiden vestibularen die Statolithenmembran und die Statolithen und im Bereiche des Corti'schen Organs die Membrana tectoria. Wie sind diese Bildungen nun verändert und wie sind sie mit dem Neuroepithel verbunden? An die Oberfläche des Neuroepithels der Cristae schließt sich eine fädige Zone an, die kontinuierlich in die Cupula übergeht. Die letztere ist jedoch viel niedriger als in der Norm. Sie bildet lediglich einen die Crista überdachenden homogenen Streifen. Die normale Architektur, wonach in der Cupula, gegen die Medianebene aufstrebend, Streifen zu erkennen sind, fehlt vollständig. Ein Teil der obenerwähnten Fäden ist sicher als Rest von Haarfortsätzen anzu-

sprechen: sie sind außerordentlich dünn und intensiv tingiert. Andere Verbindungsfäden sind jedoch dicker und bieten färberisch das Verhalten des Kolloids.

In der Macula utriculi sind nur wenige Haarfortsätze erhalten; hier schließen sich an das Neuroepithel kolloide Halbkugeln und Kugeln an, die als Mazerationsprodukte gedeutet werden müssen. Die Statolithenmembran besteht aus einem kolloiden, ziemlich dickfädigen Fasernetz, an manchen Stellen ist das Netz auseinandergezogen und verhältnismäßig weitmaschig (Taf. I, Fig. 7), an anderen Stellen engmaschig. Die einzelnen Fäden dieses Netzes stellen sich in manchen Regionen parallel zueinander, so daß am Schnitt eine kamm- oder bürstenartige Zeichnung entsteht. Auf der freien Fläche des Netzes liegen die im vorliegenden Falle besonders kleinen Statolithen. Die Statolithenschicht macht in ihrer Höhe ungefähr zwei Drittel der Höhe des Neuroepithels aus. Die Höhe des Neuroepithels im Utriculus und Sacculus beträgt 20 bis 25 μ, die Höhe der Statolithenmembran 30 bis 40 μ, stellenweise sogar 50 μ, die Statolithenschicht selber ist 12 bis 15 μ hoch. Die Statolithen haben $^1/_3$ bis 4 μ Durchmesser. Das Neuroepithel der Cristae ampullares hat eine Höhe von 20 μ. An einzelnen Stellen sind in den Cristae ampullares selbst auffallend große Blutgefäßschlingen zu sehen. (Taf. IV, Fig. 26). An einer Stelle ist das Neuroepithel der Crista durch Einschiebung einer dickwandigen, einen mit Haemalaun blau gefärbten Inhalt umschließenden Zyste unterbrochen.

Die Membrana tectoria zeigt ein verschiedenes Verhalten. An denjenigen Stellen, an welchen die Papille vollständig fehlt, ragt die Membrana tectoria frei in das endolymphatische Lumen vor. Im übrigen liegt sie dem Papillenrudiment flächenförmig an, oder ist mit ihr durch Fasern verbunden. An einzelnen Punkten der Mittelwindung läßt sich feststellen, daß von dem peripheren, in diesem Falle nicht aufgerollten Rande der Membrana tectoria ein Faserzug auf die Oberfläche des Papillenrudiments ausstreicht. Diese letzte Art der Verbindung entspricht durchaus dem embryonalen Typus.

An beiden Seiten ist der Fazialkanal in seinem Zug durch die Trommelhöhle dehiszent. Seine bindegewebige Hülle ist mit dem hinteren Steigbügelschenkel bindegewebig verlötet. Der Steigbügelmuskel zeigt normale Lage. Der Muskelbauch ist gering degeneriert, das ausfallende Muskelgewebe ist durch kernarmes Sehnengewebe ersetzt. Der Processus pyramidalis ist vollkommen normal entwickelt, der Musculus stapedius vom Nervus fazialis somit durch Knochen geschieden. Der Musculus tensor tympani zeigt gegenüber der Norm vermehrte Fettdurchwachsung.

Der Canalis utriculo-saccularis ist vorhanden. Der Aquaeductus vestibuli ist normal. Der Ductus endolymphaticus ist in dem dem Utriculus direkt benachbarten Teile normal. Weiter nach außen löst er sich in eine kleine Anzahl gewundener, enger, drüsenschlauchähnlicher Kanälchen auf, die zum Teil obliteriert sind, und geht ziemlich unvermittelt in den weiten Sacculus endolymphaticus über, der durch leistenförmige Vorsprünge im Querschnitt einzelne Buchten erkennen läßt. Nach dem anatomischen Bau des Ductus und Saccus endolymphaticus läßt sich annehmen, daß dieser Teil des häutigen Labyrinths im vorliegenden Falle funktionell, d. h. für die Saftströmung bedeutungslos gewesen ist. In dem Befunde der Zellzapfen im perilymphatischen Gewebspolster des Sacculus handelt es sich offenbar um die Weiterbildung abgeirrter Keime und um eine atypische Zellformation (1).

Die Veränderungen an der häutigen Schnecke sind durchaus hochgradig und lassen die physiologische Funktionslosigkeit des Organs deutlich erkennen, es zeigt sich jedoch beiderseits eine Abnahme des Grades der histologischen Veränderungen an der Papille von der Basis gegen die Spitze der Schnecke (an der Schneckenbasis fehlt das Bild Papillenrudiment vollständig, höher oben ist es vorhanden), Formveränderungen des häutigen Kanals sind hingegen an der Schneckenbasis nicht vorhanden und in der Schneckenspitze entwickelt.

Die Entwicklung der Stria vascularis ist vollständig ausgeblieben, es ist dies eine typische Begleiterscheinung der die kongenitale Taubheit charakterisierenden Veränderungen am Nervenganglienapparat der Schnecke. An dem Defekt der Stria vascularis beziehungsweise am Ausbleiben ihrer Entwicklung läßt sich ganz besonders deutlich nachweisen, daß die Veränderungen, die bei kongenitaler Taubheit am inneren Gehörorgan auftreten, in früher Embryonalzeit einsetzen. Das Vorhandensein

großer Blutgefäße in der Striaregion zeigt, daß hier nicht vielleicht eine am Embryo vorhandene Striaanlage zugrunde gegangen, sondern daß es überhaupt nie zur Entwicklung der Stria gekommen ist. Nach mir haben besonders Goerke (9), Denker (6), sowie Schwabach (26) die Wichtigkeit der kongenitalen Anomalien der Stria vascularis für die Genese der kongenitalen Taubheit hervorgehoben.

Auch Quix (19) ist geneigt, als primäre Ursache die Veränderungen der Stria vascularis zu betrachten und die Degeneration im Sinnesepithel, Nervenganglion usw. als sekundär anzunehmen. Dagegen erblickt sein Mitarbeiter Brouwer (19) das Primäre in den Veränderungen des Oktavusgebietes im Hirnstamm und sieht in den gesamten Abweichungen des häutigen Innenohres sekundäre Erscheinungen.[1] Nach unserem Befund müssen die ersten Veränderungen bei kongenitaler Taubheit schon in der Mitte des zweiten Embryonalmonats einsetzen.

Der Atrophiegrad der einzelnen Äste des Nervus octavus ist ungleich gewesen, die verhältnismäßig geringste Atrophie zeigt sich an den Bogengangsästen, darauf folgen die vestibularen Äste, den höchsten Grad bieten die beiden Cochlearnerven. Hierin stimmt der vorliegende Befund mit einer großen Anzahl anderer überein, die uns gezeigt haben, daß sowohl kongenitalen als später auftretenden Schädigungen gegenüber die Labyrinthäste des Nervus octavus einen erfolgreicheren Widerstand als der cochleare Ast aufbringen. Die »Selbstentwicklung« im Sinne von Roux kommt sicher dem Labyrinth im weit höheren Grade zu als der Schnecke.

Als primäre Veränderungen am peripheren Gehörorgan möchte ich die unvollkommene, beziehungsweise defekte Anlage des Nervus octavus bezeichnen und darin wieder die kongenitale Hypoplasie oder kongenitale Atrophie des Ganglienapparates des Oktavus. Unabhängig davon haben sich intraembryonal beide inneren Gehörorgane gestaltlich im wesentlichen normal entwickelt. Es ist auch zunächst zur Ausbildung der Nervenendstellen gekommen. Die Defektentwicklung an diesen letzteren hat zu einer Zeit eingesetzt, zu welcher sich normalerweise der nutritive Zusammenhang der peripherwärts vorgewachsenen Oktavusfasern mit ihrem Neuroepithel einstellt. Unter Ausbleiben dieser nutritiven Verbindung ist die Endentwicklung des Neuroepithels ausgeblieben. Das vorhandene Zellmaterial ist an einzelnen Stellen resorbiert worden (so wahrscheinlich an der Schneckenbasis), im übrigen sind pathologische Gewebsformen entstanden.

Abgesehen davon lassen beide Gehörorgane mehrfach in ihrem Bau einen embryonalen oder infantilen Typus erkennen. Hierher gehören der Befund der ausgedehnten Knorpelinseln, der Dehiszenz des Fazialkanals, der abnormen Dicke des primären oder sekundären Trommelfells u. s. f. Im Gebiete des Schneckenfensters ist überdies noch eine anatomische Übergangsform des menschlichen zum Rodentiertypus nachweisbar.

Der histologische Befund stimmt mit der Anamnese vollständig überein. Es bestand Taubheit ohne Hörreste. Daß die Abnormitäten im Bereiche des Labyrinths funktionell nicht störend hervorgetreten sind, beruht darauf, daß wir in bezug auf das Körpergleichgewicht für die Verrichtungen des Alltags der normalen Funktion des Bogengangs- und des Vorhofapparates entraten können. Im übrigen hat im vorliegenden Falle schon das Augenleiden eine mangelhafte Orientierung im Raume und die Notwendigkeit fremder Hilfe beim Umhergehen in unbekannter Umgebung mit sich gebracht.

Der plötzliche Tod war eine Folge der Myodegeneratio cordis und der Sklerose der Koronararterien.

Der vorliegende Fall zeigt nach seinen Einzelbefunden einige Verwandtschaft mit einzelnen Fällen kongenitaler Taubheit der Literatur, so mit dem von Goerke (9) und von Quix und Brouwer (19).

In der defekten Ausbildung der Papilla basilaris der Schneckenbasis ähnelt der vorliegende Fall auch dem von Watsuji (27).

---

[1] In der Mitteilung des zentralen Oktavusbefundes meines Falles, die demnächst erfolgt, habe ich die Frage der Kausalität eingehend erörtert.

Im Zusammenhalte des Siebenmann'schen und meines Falles kommt man zum Schlusse, daß zum Charakterbilde der typischen hereditär-degenerativen Taubstummheit die Funktionslosigkeit des Cochlearapparates und des Labyrinths gehört. Dies wird auch erhärtet durch die Untersuchungen von Bezold (5) und von H. Frey und V. Hammerschlag (8). Die letzteren fanden an ihrem Material vier Taubstumme mit Retinitis pigmentosa. Alle vier waren Drehversager.

Der anatomische Befund des Siebenmann'schen Falles und meines Falles zeigen an, daß komplette Taubstummheit bestanden hat. Bezold (l. c.) fand klinisch an den vier Gehörorganen zweier Fälle eines taub, bei dreien eine Hörinsel im Bereiche der kleinen und großen Oktave, zum Teil noch in die Kontraoktave hinabreichend. Lucae (l. c.) fand in einem hierhergehörigen Falle, den er auch anatomisch untersuchte, jedoch nicht histologisch verarbeitet hat, Hörreste in mittlerer Tonhöhe, die sich mehr nach abwärts als nach aufwärts ausdehnten. Unter den vier von H. Frey und V. Hammerschlag (l. c.) im Leben untersuchten Fällen waren drei total taub, beim vierten waren Hörreste fraglich; alle waren geistig zurückgeblieben. Siebenmann (l. c.) verweist nun auf den Befund seines Falles, in welchem allerdings bei Vorhandensein kompletter Taubheit die Reste des Cortischen Organs im oberen Schneckenabschnitt immerhin besser erhalten waren als im basalen; wären somit die Veränderungen etwas geringergradig entwickelt, so wäre es eher zu erwarten, daß ein funktionsfähiges Cortisches Organ in den oberen Partien der Schnecke aufträte, dies würde Hörreste bedeuten, die im wesentlichen unterhalb der Mitte der perzipierenden Tonreihe gelegen sind, somit Hörinseln von einer Lage, wie sie sich in den beiden von Bezold und Lucae im Leben beobachteten Fällen haben tatsächlich feststellen lassen. Die anatomischen Veränderungen, die Siebenmann in den Labyrinthen seines Falles gefunden hat, erscheinen ihm für die in einschlägigen klinischen Fällen beobachtete Funktionslosigkeit des Labyrinths nicht ausreichend. Er sagt weiter, »ein von einem besser konservierten Präparat gewonnener Sektionsbefund möge vielleicht später noch weiteres Licht zur Klärung dieser Frage verbreiten«. Siebenmann hält die Gefäßarmut für primordiale Veränderungen; sie spielt die Hauptrolle bei der Degeneration der labyrinthären Nervenendstellen wie dies auch bei der Degeneration der Retina der Fall ist.

Zum Schlusse kann ich die soziale Seite des Falles nicht unberührt lassen. Das Schicksal dieses Taubstummen spiegelt uns das traurige Geschick einer großen Anzahl von Taubstummen wieder. Die Taubstummenanstalt hat ihm eine gute Schulbildung gegeben, er hat die Anstalt im Alter von 16 Jahren verlassen und von diesem Alter an bis zu seinem im 52. Lebensjahre erfolgten Tod handelt es sich um nichts anderes als um ein soziales Abwärtsgleiten von der Bildungs- und Erwerbsstufe, die ihm der Unterricht in der Taubstummenanstalt verschafft hat. Mit dem Fortschreiten seines Augenleidens hat er das Ablesen verlernt, später auch die Artikulationssprache aufgegeben und konnte sich am Schlusse seines Lebens nur wie ein Taubblinder durch die Handtastsprache verständigen. Es ist als ein besonders günstiger Umstand anzusehen, daß unser Taubstummer von seinem 16. bis zu seinem 52. Lebensjahre in der Familie seines Lehrherrn bleiben konnte. Trotzdem zeigt der Fall deutlich, wie sehr eine Fürsorgeaktion nottut, die die Taubstummen von der Zeit ihres Verlassens der Taubstummenanstalt an erfaßt. Nur so wird man den gegenwärtigen Verhältnissen entgegenarbeiten können, die immer wieder zeigen, daß die besten Unterrichtserfolge den Taubstummen im Erwerbsleben nicht frei konkurrenzfähig machen und daß eine große Anzahl Taubstummer, sich selber überlassen, im Kampfe ums Dasein früher oder später unterliegen.

Wir wollen nun versuchen unter Zugrundelegung des vorliegenden Falles die gegenwärtige übliche Gruppierung der kongenitalen Taubheit auf ihre Zulänglichkeit zu prüfen. Siebenmann (22, 23) hat drei Gruppen unterschieden: Die angeborene Taubstummheit ohne Atresia congenita, mit Atresia congenita und die endemische Taubstummheit. Innerhalb der ersten Hauptgruppe nahm er folgende Unterteilung vor: Gruppe 1 Aplasie des ganzen Labyrinths, Gruppe 2 Degeneration und Metaplasie des Epithels des endolymphatischen Raumes. In dieser letzten Gruppe hat er eine weitere Unterteilung in folgender Form gemacht: A) Angeborene Taubstummheit mit Epithelmetaplasien bloß auf der Membrana basilaris,

B) Ausgedehnte Epithelmetaplasie, fehlende oder mangelhafte Entwicklung des Sinnesepithels, kombiniert mit Ektasie und Kollapszuständen der häutigen Labyrinthwand der Pars inferior. Innerhalb der letzten Unterabteilung unterscheidet er drei verschiedene Typen (Siebenmann, Mondini[1], Scheibe).

Die Gruppeneinteilung Siebenmann's hat den Nachteil, daß in den Hauptgruppen zweimal anatomische, das drittemal jedoch klinische Merkmale der Einteilung zugrunde gelegt werden. Aber auch die anatomische Haupteinteilung nach der Atresie ist nicht ausreichend, denn gerade die Mißbildung der äußeren Ohrteile spielt bei der kongenitalen Taubstummheit nur eine nebensächliche Rolle. Wir müssen uns endlich auch von den vielen, in der Literatur vorhandenen, unsicheren und den sogenannten negativen Befunden freimachen und den Grundsatz aufstellen, daß nur auf dem Boden moderner Serientechnik brauchbare Befunde von Taubstummenlabyrinthen gewonnen werden können. Es ist das Verdienst von Denker, das in der Literatur vorhandene brauchbare Tatsachenmaterial zusammengestellt zu haben. In bezug auf die Gruppierung der kongenitalen Taubheit behält Denker die Siebenmann'sche Einteilung bei. Hammerschlag bringt die kongenitale Taubstummheit in zwei Gruppen: 1. Kongenitale Taubstummheit durch lokale Erkrankung des Gehörorgans. 2. Konstitutionelle Taubstummheit.

Auch hier haben wir die Nebeneinanderstellung eines anatomischen und eines klinischen Einteilungsprinzips mit allen Nachteilen, die aus einer derartigen ungleichartigen Grundeinteilung folgen. Außerdem ist es sicher, daß die konstitutionelle Taubstummheit klinisch nur ein Kapitel der konstitutionellen Ohrerkrankungen überhaupt darstellt. Vom klinisch-wissenschaftlichen Standpunkt ist es aber in erster Linie nicht von großer Bedeutung, ob ein mit einer konstitutionellen Ohrerkrankung behaftetes Individuum nur schwerhörig oder total taub ist. Goerke hat die Einteilung in embryonale und postembryonale Taubstummheit vorgeschlagen.

Meines Erachtens müssen wir die kongenitale Taubheit gruppenmäßig einteilen und vor allem darüber im klaren sein, welchem Zwecke die Gruppeneinteilung dienen soll. Dient sie der Gruppierung der lebenden Fälle, so soll gewiß die Einteilung nach klinischen Gesichtspunkten vor sich gehen. Für einen erfolgreichen kritischen Überblick solcher Fälle liefert das Einteilungsprinzip Hammerschlag's die beste Voraussetzung. Wir haben aber auch eine Einteilung notwendig, die es gestattet, einen neu zugewachsenen anatomischen Befund den anderen schon bekannten Befunden richtig anzugliedern. Für diesen Zweck muß das Einteilungsprinzip ein anatomisches sein. Es hat dann gewiß nichts zu sagen, daß unter Umständen in derselben anatomischen Gruppe Taubstummen-Ohrbefunde vereinigt sind, die klinisch nicht zusammengehören. Will jemand dann diese Befunde vom klinischen Standpunkt aus studieren, dann muß er eben die Fälle aus der anatomischen Einteilung herausheben. Weiters sei man sich darüber klar, daß eine richtige Gruppeneinteilung nur unter Rücksichtnahme auf die Topographie der hauptsächlichen anatomischen Befunde erfolgen kann. Diese betreffen bei der kongenitalen Taubheit stets das häutige Innenohr oder den Nervenganglienapparat (einschließlich des zentralen Oktavus) oder beide. Ja man könnte sich füglich sogar von dem Begriff der Taubheit, der nur den Superlativ von Veränderungen, beziehungsweise die volle Funktionslosigkeit des Organs beinhaltet, losmachen und von den »kongenitalen Krankheiten des Gehörorganes« sprechen. Danach ergeben sich folgende Gruppen:

1. Kongenitale Taubheit mit Veränderungen am gesamten Innenohr.
2. Kongenitale Taubheit mit Beschränkung der Veränderungen auf die Pars inferior labyrinthi (sacculocochleare Degeneration).

Die erwähnten zwei Hauptgruppen wären sowohl nach dem Verhalten des zentralen Oktavus als nach dem des schalleitenden Apparates zu modifizieren. Nach dem Verhalten des zentralen Oktavus hätten wir einzuteilen:

---

[1] Mit Unrecht so benannt. Der erste diesbezügliche genau und histologisch untersuchte Fall stammt von mir (Verhandlungen der deutschen otolog. Ges. Berlin 1904 und Archiv f. Ohrenh. B. 61. 1904).

1. Kongenitale Taubheit bei normalem Wurzel- und Kerngebiet sowie Rindenfeld des Oktavus und
2. bei verändertem Wurzel- und Kerngebiet sowie Rindenfeld des Oktavus.

Nach dem Verhalten des gesamten schalleitenden Apparates ergeben sich neuerlich zwei Formen:

1. Kongenitale Taubheit bei im wesentlichen normalem schalleitenden Apparat.
2. kongenitale Taubheit mit Veränderungen im schalleitenden Apparat.

Unter schalleitendem Apparat ist hier die Gesamtheit dieses Apparates (äußeres Ohr, Mittelohr und knöcherne Labyrinthkapsel) verstanden. Daraus ergeben sich folgende 8 anatomische Gruppen:

	häutiges Innenohr		zentraler Oktavus	schalleitender Apparat
	Pars superior labyrinthi	Pars inferior labyrinthi		
1.	verändert		normal	normal
2.	verändert		verändert	normal
3.	verändert		verändert	verändert
4.	verändert		normal	verändert
5.	normal	verändert	normal	normal
6.	normal	verändert	verändert	normal
7.	normal	verändert	verändert	verändert
8.	normal	verändert	normal	verändert

Logischerweise würden sich an diese Gruppen vier analoge Gruppen der kongenitalen Bildungsanomalien der Pars superior labyrinthi anschließen. Diese haben jedoch mit kongenitaler Taubheit nichts zu tun und illustrieren nur die kongenitalen Defekte des Bogengangapparates und des ovalen Sackes.

Will man eine sachlich richtige Einteilung nach diesem Prinzip erhalten, so müßte noch auf folgendes Rücksicht genommen werden. Bei der Gruppeneinteilung muß ein Unterschied in den Veränderungen danach gemacht werden, ob es sich um wesentliche, die Genese der Taubstummheit entscheidend beeinflussende oder um nebensächliche und zufällige Veränderungen handelt.

Unwesentliche Abweichungen von der Norm sind im schalleitenden Apparat in Fällen von kongenitaler Taubheit in der einen oder anderen Form fast stets nachweisbar. Ein Fall wäre aber nur in die Gruppen 3, 4, 7, 8 zu bringen, wenn im schalleitenden Apparat wesentliche Veränderungen nachgewiesen worden sind, die für die mechanische Sonderentwicklung des häutigen inneren Gehörorganes nicht ohne Einfluß waren.

Nach diesen Einteilungsgrundsätzen ergibt es sich von selbst, daß in der Diskussion nur Fälle in Betracht kommen können, die histologisch vollständig untersucht worden sind. Nur durch diese Einteilung, das heißt nur durch eine Einteilung, die die anatomischen Merkmale als Grundlage benützt, erhalten wir die Möglichkeit, die anatomisch untersuchten Fälle nach ihren Einzelbefunden richtig zu charakterisieren und richtig in dieses Gerüst einzutragen. Eine Fusion anatomischer und klinischer, beziehungsweise ätiologischer Einteilungsmerkmale muß nur zur Verwirrung führen. Die klinisch-ätiologische Einteilung der kongenitalen Taubheit hat neben der anatomischen und von ihr getrennt zu bestehen. Als klinisch-ätiologische Gruppierung ist ohneweiters die von Hammerschlag empfohlene Form zu akzeptieren: danach erhalten wir:

1. Die durch lokale Erkrankung des Gehörorganes bedingte kongenitale Taubstummheit,
2. die konstitutionelle Taubstummheit,

a) die endemische (kretinische) Taubstummheit,

b) die sporadische (hereditär-degenerative) Taubstummheit (Taubstummheit bei konsanguinen Ehen usf.).

Mit dem Weiterschreiten unserer klinischen Kenntnisse tritt jedoch bei der klinischen Gruppierung das Merkmal der Taubheit, beziehungsweise Taubstummheit wie oben erwähnt, in den Hintergrund. Der anatomische Befund der Taubheit wird gegenüber allen anderen anatomischen Graden von Ohrver-

änderungen stets interessant bleiben, er illustriert, von der Qualität der Veränderungen abgesehen, diejenige Quantität der Veränderungen, durch welche die Funktion des Organes aufgehoben wird. Anders steht es dagegen, wenn wir den Begriff der kongenitalen Taubheit klinisch fassen. Für alle Gattungen der kongenitalen Taubheit kann es nach den bisherigen Befunden als sicher gelten, daß sich an die komplette Taubheit qualitativ identische, quantitativ jedoch schwächere Fälle anschließen, die als Taubheit mit Hörresten, endlich als Schwerhörigkeit bis zu Schwerhörigkeit leichten Grades bezeichnet werden müssen. Nach ihrer Art sind diese Fälle durchaus identisch. Es hat nach dem heutigen Stande unseres Wissens vom klinisch-ätiologischen Standpunkte weit mehr Berechtigung, die Gruppierung nicht nach dem Hauptnamen kongenitaler Taubheit, sondern kongenitaler Innenohraffektion durchzuführen, zeigen doch die Befunde von Hammerschlag und Stein (8), Manasse (15) und mir (2), daß eine zusammenhängende Reihe gleichartiger klinischer und anatomischer Merkmale die kongenitalen Innenohraffektionen auszeichnet. Diese mag, wenn die Veränderungen einen genügenden Quantitätsgrad erreicht haben, zur Taubheit führen, bleiben die Veränderungen auf einer niedrigeren Stufe stehen, so ist nur eine mehr oder weniger bedeutende Schwerhörigkeit die Folge.

Das kontinuierliche Überfließen des Grades der Fälle von leichter Schwerhörigkeit bis zur kompletten Taubheit habe ich selbst wiederholt dartun können. Ich verweise diesbezüglich auf meine Untersuchungen über das Gehörorgan der Kretinen (4) und auf meine schulohrenärztlichen Berichte über die Schulohrenklinik in Berndorf (2).

Literatur.

1. Alexander: Über atypische Epithelformationen im häutigen Labyrinth. Arch. f. Ohrenh. Bd. 55, 1902.
2. — Schulärztliche Ohruntersuchungen an der Volksschule zu Berndorf. Monatsschr. f. Ohrenh., Bd. 46, 1912.
3. — Beiträge zur Anatomie der kongenitalen Taubstummheit. Die Anatomie der Taubstummheit, herausg. im Auftrage der deutsch. otol. Gesellschaft. 2. Lieferung
4. — Das Gehörorgan der Kretinen. Arch. f. Ohrenh. Bd. 78, 1908.
5. Bezold Fr.: Das Hörvermögen der Taubstummen. Bergmann, Wiesbaden 1896, p. 97—99.
6. Denker: Einteilung der Taubstummheit und Zusammenstellung der verwertbaren Taubstummenohrbefunde. Anatomie der Taubstummheit. 7. Lieferung, und: Die Pathologie der angeborenen Taubstummheit. Zeitschr. f. Ohrenhkde. Bd. 69, 1913.
7. — Zur Anatomie der kongenitalen Taubstummheit (Untersuchung zweier Taubstummenschläfenbeine). Ibidem. 4. Lieferung.
8. Frey H. und Hammerschlag V., Untersuchungen über den Drehschwindel der Taubstummen, Zeitschr. f. Ohrenh. Bd. 48, 1904, p. 350.
9. Goerke: Zwei Fälle angeborener Taubstummheit. Ibidem. 3. Lieferung.
10. Hammerschlag V., Verhandlungen der deutschen otol. Ges. 1904, p. 40. Fischer, Jena.
11. — Zur Kenntnis der heriditär-degenerativen Taubstummheit. V. Über pathologische Augenbefunde bei Taubstummen und ihre differenzial-diagnostische Bedeutung. Zeitsch. f. Ohrenh. Bd. 54, 1907.
12. — und Stein: Die chronische progressive labyrinthäre Schwerhörigkeit (Manasse). Wien. med. Woch. 1917, Nr. 37—39.
13. Linck: Ein Fall von kongenitaler Taubstummheit. Die Anatomie der Taubstummheit, herausg. im Auftrage der deutsch. otol. Ges. 6. Lieferung.
14. Lucae A., Die bei Schwerhörigen zu beobachtende gute Perzeption der tieferen musikalischen Töne und die physiologische und diagnostische Bedeutung dieser Erscheinung; nebst Sektion zweier bei Lebzeiten beobachteten Fälle. Arch. f. Ohrenh. B. 15, p. 275—276.
15. Manasse P., K. Grünberg und W. Lange, Handbuch der pathologischen Anatomie des Ohres, Wiesbaden, Bergmann 1917.
16. Nager: Bildungsanomalien der Paukenhöhle und Gehörknöchelchen mit Veränderungen des Ductus cochlearis (Typus Siebenmann der angeborenen Taubstummheit). Ibidem. 3. Lieferung.
17. Oppikofer: Über das Vorkommen von Fett in der runden Fensternische. Zeitschr. f. Ohrenh. Bd. 75, S. 50, 1917.
18. Politzer: Lehrbuch der Ohrenheilkunde. 5. Auflage, Enke.
19. Quix und Brouwer: Beitrag zur Anatomie der kongenitalen Taubstummheit (Untersuchung der Gehörorgane und des Gehirns eines taubstummen Knabens). Die Anatomie der Taubstummheit, herausg. im Auftrage der deutsch. otol. Ges. 7. Lieferung.
20. Schönemann: Beitrag zur pathologischen Anatomie der kongenitalen Taubheit. Ibidem. 7. Lieferung
21. Siebenmann F., Demonstration von Präparaten dreier Fälle von Verschluß der runden Fensternische durch Fettgewebe. Verhandlungen der deutschen otolog. Ges. Hamburg 1899.

22. Siebenmann: Anatomie der angeborenen Form der Taubstummheit. Verhandlungen der deutschen otolog. Ges. 1904.
23. — Grundzüge der Anatomie und Pathogenese der Taubstummheit. Bergmann, Wiesbaden. 1904.
24. — Bildungsanomalien im Gebiete der Gehörknöchelchen und der Fensternischen. Kollaps des Ductus cochlearis, dessen sämtliche drei Wände die Spuren vorausgegangener Ektasie zeigen. Ibidem. 1. Lieferung.
25. — und R. Bing: Über den Labyrinth- und Hirnbefund bei einem an Retinitis pigmentosa erblindeten Angeboren-Taubstummen. Zeitsch. f. Ohrenhkde. Bd. 54, d. 265, 1907.
26. Schwabach: Beitrag zur Anatomie der Taubstummheit. Ibidem. 4. Lieferung.
27. Watsuji: Histologischer Beitrag zur Taubstummheit. Ibidem. 1. Lieferung.
28. Wittmaack K., Über die normale und die pathologische Pneumatisation des Schläfenbeines. Fischer, Jena, 1918.
29. Zuckerkandl E., Zur Morphologie des Musculus tensor tympani, Arch. f. Ohrenh. Bd. XX, p. 104.

Erklärung der Abkürzungen.

C_{VII}	Canalis facialis.
Csp	Canalis spiralis.
Cah	Crista ampullaris horizontalis.
Cu	Cupula.
Cy	Cyste in der Stria vascularis.
Dc_v	Ductus cochlearis des Vorhofteiles.
Dc_1	» » der Basalwindung.
Dc_2	» » der Mittelwindung.
Dc_c	» » der Spitzenwindung.
f	Fettgewebe.
Gsp	Ganglion spirale.
J	Jncus.
Lsp	Ligamentum spirale.
Lspo	Lamina spiralis ossea.
M	Malleus.
Mai	Meatus auditorius internus.
Mb	Membrana basilaris.
Mt	Membrana tectoria.
Mts	Membrana tympani secundaria.
Mu	Macula utriculi.
Mv	Membrana vestibularis.
Nc	Nervus cochleae.
Neu	Neuroepithel.
pe	perilymphatisches Gewebe.
Pb	Papilla basilaris.
Pb_2	» » der Mittelwindung.
Psp	Prominentia spiralis.
S	Sacculus.
Sspe	Sulcus spiralis externus.
St_v	Scala tympana des Vorhofteiles.
St_1	» » der Basalwindung.
St_2	» . der Mittelwindung.
St_c	» » der Spitzenwindung.
Sta	Stapes.
Stv	Stria vascularis.
Sv_v	Scala vestibuli des Vorhofteiles.
Sv_1	» » der Basalwindung.
Sv_2	» » der Mittelwindung.
Sv_c	» » der Spitzenwindung.
Ty	Tympanum.
V	Vestibulum.

Figuren- und Zeichenerklärung.

Tafel I.

Fig. 1. Rechte Seite. Querschnitt durch die Hammer—Ambosverbindung. Reichliche endo- und periartikuläre Knorpelreste (*a* und *b*). Haemalaun-Eosin.[1] Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm*.

Fig. 2. Rechte Seite. Querschnitt durch den Fazialkanal in der Höhe des Vorhoffensters. Dehiszenz des knöchernen Fazialkanals. Obj. 1, Tubuslänge 26·5 *cm*.

Fig. 3. Rechte Seite. Schnitt durch die Steigbügelplatte. Osteophytenartige, von der Steigbügelplatte abgehende Zapfen (*a*). Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm*.

Fig. 4. Rechte Seite. Vertikalschnitt durch das Felsenbein am Boden des inneren Gehörganges (Mai). Spaltbildung (*a*). Im Knochen reichliche Knorpelreste (*b, b*). Obj. 3. Tubuslänge 16·5 *cm*.

Fig. 5. Rechte Seite. Axialschnitt durch die Schneckenkapsel in der Höhe der Spitzenwindung. Reichliche, bis an das Ligamentum spirale reichende Knorpelreste (*a*). Obj. 3, Tubuslänge 16·5 *cm*.

Fig. 6. Rechte Seite. Vertikalschnitt durch die Schneckenkapsel der Spitzenwindung. Großer, bis an das Ligamentum spirale reichender Knorpelrest. Die Vergrößerung wie bei der vorhergehenden Figur.

Fig. 7. Rechte Seite. Vertikalschnitt durch die Macula utriculi. Reichliche Zellücken (*a, a*), auf dem Neuroepithel eine netzförmige Statolithenmembran (*b*), Statolithen (*c*) vorhanden. Obj. 5, Tubuslänge 16·5 *cm*.

Fig. 8. Rechte Seite. Radialschnitt durch den Vorhofteil des Schneckenkanals. Vollkommener Defekt der Papilla basilaris. An ihrer Stelle eine an den beiden Sulci spirales abgehobene, einfache Zellbrücke (*a, b*). Vollkommener Defekt der peripheren Nervenfasern. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm*.

Tafel II.

Fig. 9. Rechte Seite. Radialschnitt durch die Basalwindung. Vollkommenes Fehlen des Corti'schen Organs. Eine dünne Zellbrücke (*a*) durchzieht in mittlerer Höhe den endolympatischen Kanal; sie entspringt axial von der oberen Lippe der Crista spiralis und endet peripher an der Prominentia spiralis. Die tympanale Belegschicht fehlt vollständig. Hochgradige Atrophie des Ganglion spirale. Nahezu vollständiger Defekt der peripheren Cochlearisfasern. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm*.

Fig. 10. Rechte Seite. Radialschnitt durch den oberen Teil der Basalwindung. Papilla basilaris in Form eines Zellhügels erhalten, der in der Gegend des Tunnelraumes einen rundlichen Spalt (*a*) erkennen läßt. Papille nur aus Stützzellen zusammengesetzt. Corti'sche Membran mit ihr durch Fasern verbunden. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm*.

Fig. 11. Rechte Seite. Axialschnitt durch die Spitzenwindung. Papilla basilaris in Form eines Stützzellenhügels erhalten (*a*). Spitzenbildung an der Stria vascularis (*b*). Membrana vestibularis (Mv) auf die Außenwand und die Basalwand abgesunken. Periphere Wand der Corti'schen Membran mit dem die Papille darstellenden Stützzellhügel kontinuierlich verbunden. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm*.

Fig. 12. Rechte Seite. Radialschnitt durch die Spitzenwindung. Papilla basilaris in Form eines soliden Zellhügels mit zarten, palissadenartig angeordneten Stützzellen erhalten. Kein Hohlraum darin

[1] Wo nichts anderes bemerkt ist, liegen der Zeichnung mit Haemalaun-Eosin gefärbte Präparate zugrunde.

erkennbar. Zystenbildung in der Stria vascularis (*a*). Endolymphatischer Kanal durch Absinken der Vestibularmembran auf die Außen- und die Basalwand bis auf einen kleinen Rest (Dc_c) aufgehoben. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 13. Rechte Seite. Radialschnitt durch die Spitzenwindung. Papilla basilaris in Form eines aus unregelmäßig übereinander geschichteten Stützzellen formierten Hügels erhalten mit einem im Querschnitt ovalen Hohlraum (*a*). Vollkommene Atrophie der Stria vascularis (Stv). Vollständiges Absinken der Vestibularmembran auf die Außenwand und die Basalwand. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Tafel III.

Fig. 14. Rechte Seite. Radialschnitt durch die Papilla basilaris des oberen Teiles der Basalwindung. Stützzellenhaufen mit einem ovalen Hohlraum (*a*) im axialen Drittel. Corti'sche Membran mit der Papilla basilaris kontinuierlich verbunden. Obj. 5, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 15. Rechte Seite. Axialer Vertikalschnitt durch die Papilla basilaris der Mittelwindung, Corti'sche Membran derselben anliegend, jedoch nicht mit ihr kontinuierlich verbunden. Der Zellhaufen durchaus solid, ohne Hohlraum. Obj. 5, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 16. Rechte Seite. Radialschnitt durch die Mittelwindung. Zystenbildung in der Stria vascularis. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 17. Rechte Seite. Radialschnitt durch die Mittelwindung. Papilla basilaris in Form eines soliden Stützzellhaufens. Corti'sche Membran derselben anliegend. Obj. 5, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 18. Linke Seite. Ligamentum spirale der Mittelwindung. Große Blutgefäße (v) im Ligamentum spirale, nach aufwärts bis in die Gegend der vollständig fehlenden Stria vascularis reichend. Obj. 3, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 19. Rechte Seite. Radialschnitt durch die Mittelwindung. Lockeres, blutgefäßloses Maschengewebe (*a*) in der Region der Stria vascularis. Obj. 5, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 20. Linke Seite. Radialschnitt. Lockeres, blutgefäßloses Bindegewebe in der Region der im übrigen fehlenden Stria vascularis der Mittelwindung. Obj. 3, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Tafel IV.

Fig. 21. Linke Seite. Radialschnitt durch die Basalwindung. Reichliche vollkommen degenerierte Reste des Cochlearnerven (Nc) in der Lamina spiralis. Ganglion spirale (Gsp.) hochgradig atrophiert. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 22. Rechte Seite. Radialschnitt durch den oberen Teil der Mittelwindung. Der Papilla basilaris entsprechen Zellhügel mit zum Teil palissadenförmig gestellten Stützzellen und der Nachahmung des embryonalen Typus der Papille: innerer (*a*) uns äußerer (*b*) Epithelhügel. Obj. 6, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 23. Linke Seite. Vertikalschnitt durch die Nische des Schneckenfensters. Hochgradig verdicktes, sekundäres Trommelfell (M. t. s.), in die Membran eingelagerte, drüsenähnliche Schläuche (*a*), Fensternische zum Teil durch Fettgewebe (*f*) ausgefüllt. Obj. 1, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 24. Linke Seite. Atypische Zellhaufen (*a*) im perilympatischen Gewebspolster des Sacculus. Obj. 5, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 25. Linke Seite. Schiefschnitt durch den Sulcus spiralis externus. Man sieht das typische Plattenepithel annähernd von der Fläche, Obj. 5, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Fig. 26. Linke Seite. Vertikalschnitt durch die horizontale Ampulle. Schlingenförmiges Gefäß (*a, a*) in der Crista ampullaris (Cal). Neuroepithel (Neu) degeneriert. An den Rändern der Crista völliges Fehlen der normalen Neuroepithelstruktur mit Auftreten von zystenähnlichen Körpern mit homogenen Einlagerungen (*b, b*). Seitlich ein Rest der Cupula (Cu.), Obj. 3, Tubuslänge 16·5 *cm.*

Alle Abbildungen sind mit dem Leitz'schen Zeichenokular hergestellt.

Alexander, G.: Hereditär degenerative Taub

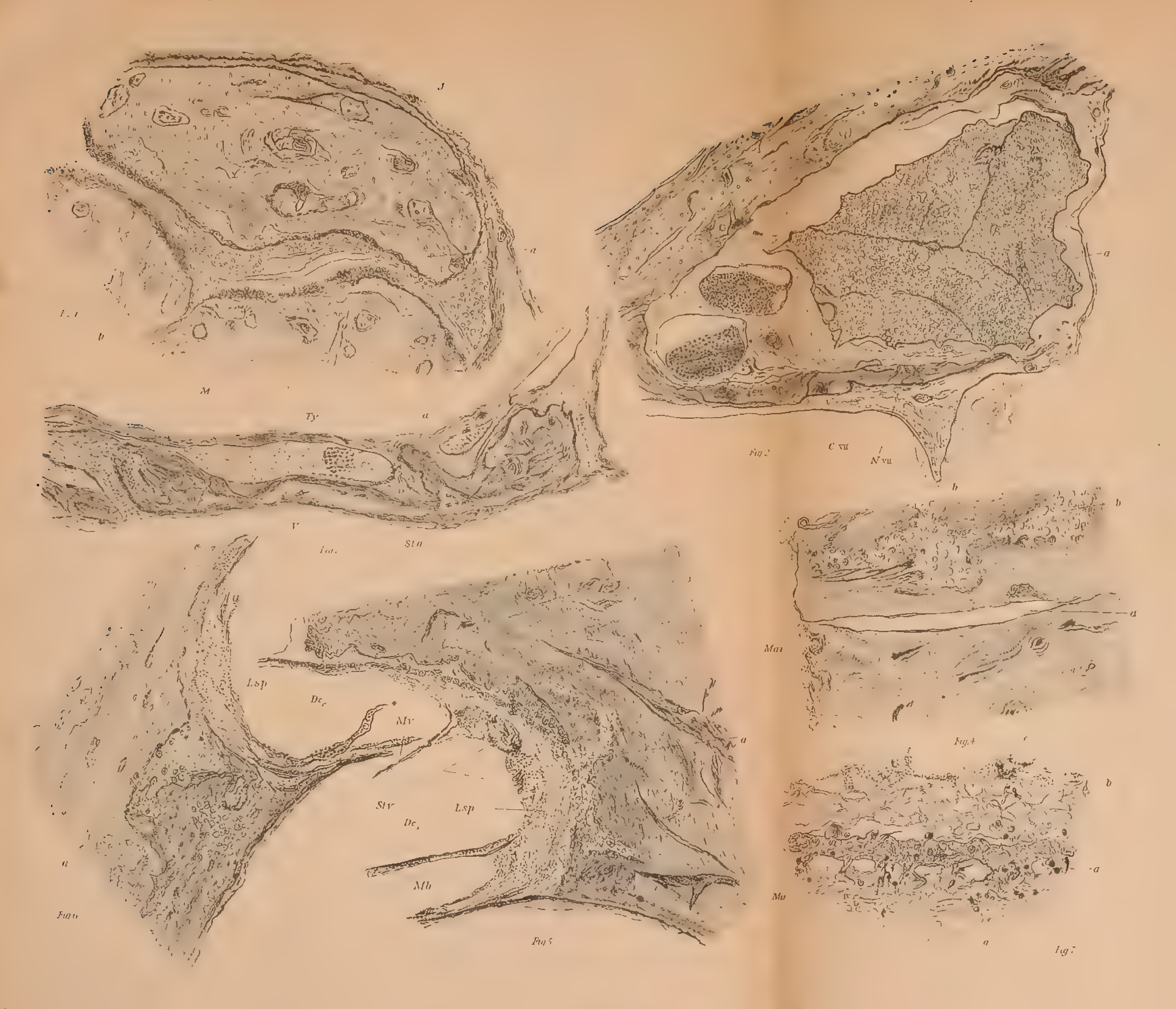


Fusser del.

erkennbar.
Vestibularr
Obj. 1, Tu
Fig.
unregelmäſ
schnitt ov
der Vestib

Fig.
Stützzeller
Papilla ba
Fig.
Corti'sche
durchaus
Fig.
Obj. 1, Tı
Fig.
Stützzellhe
Fig.
mentum s
Obj. 3, Tı
Fig.
gewebe (c
Fig.
übrigen fe

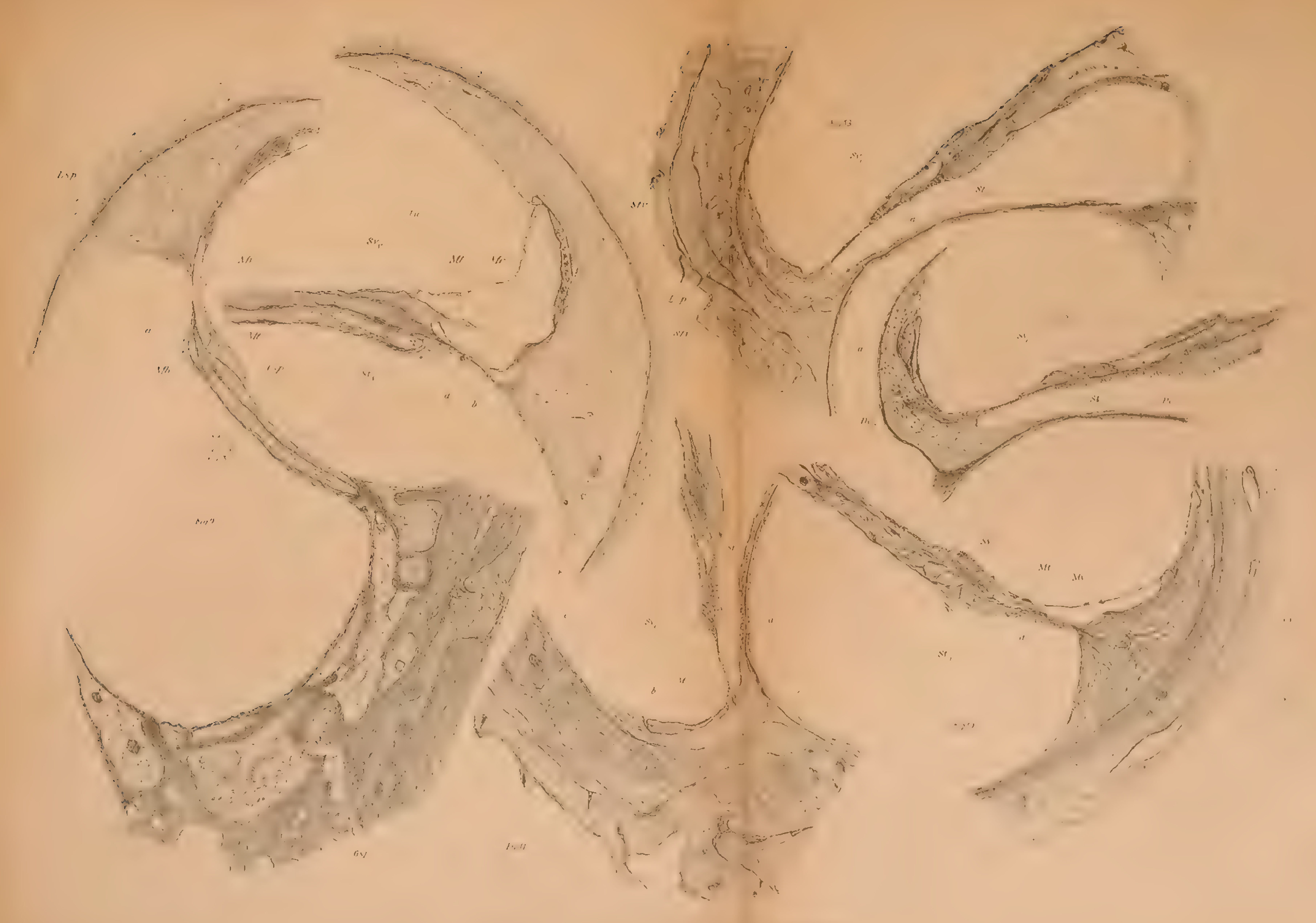
Fig.
Reste des
Obj. 1, T
Fig.
entsprech
embryona
Fig.
dicktes, s
Fensterni
Fig.
Obj. 5, T
Fig.
Plattenepi
Fig.
der Crista
der norm
lagerunge
Alle Abbildungen sind mit dem Leitz'schen Zeichenokular hergestellt.



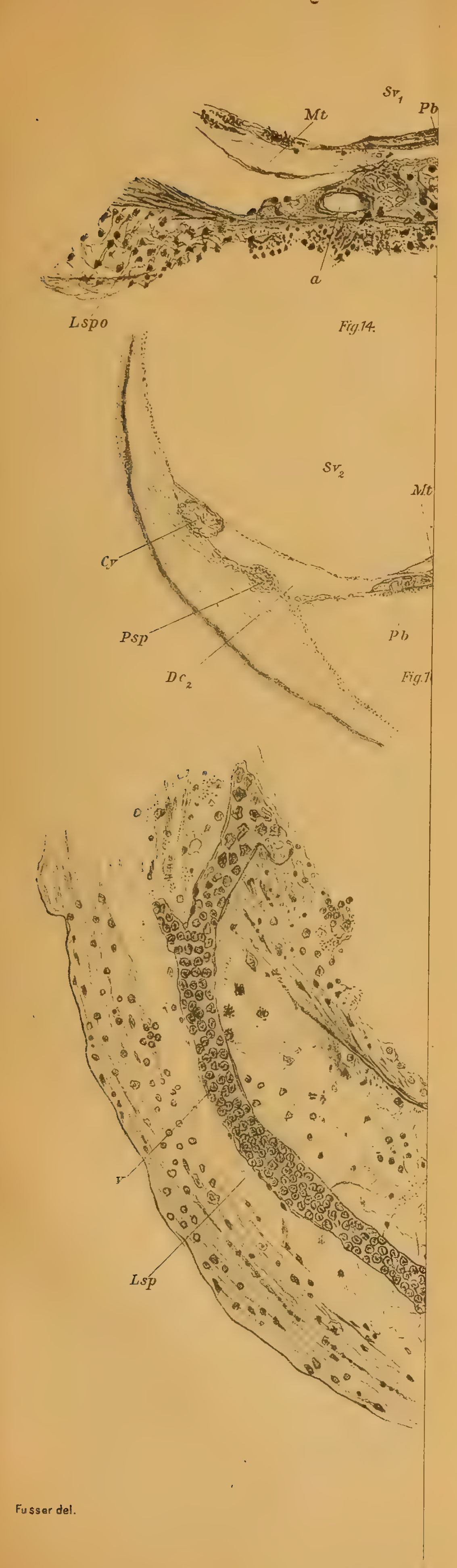






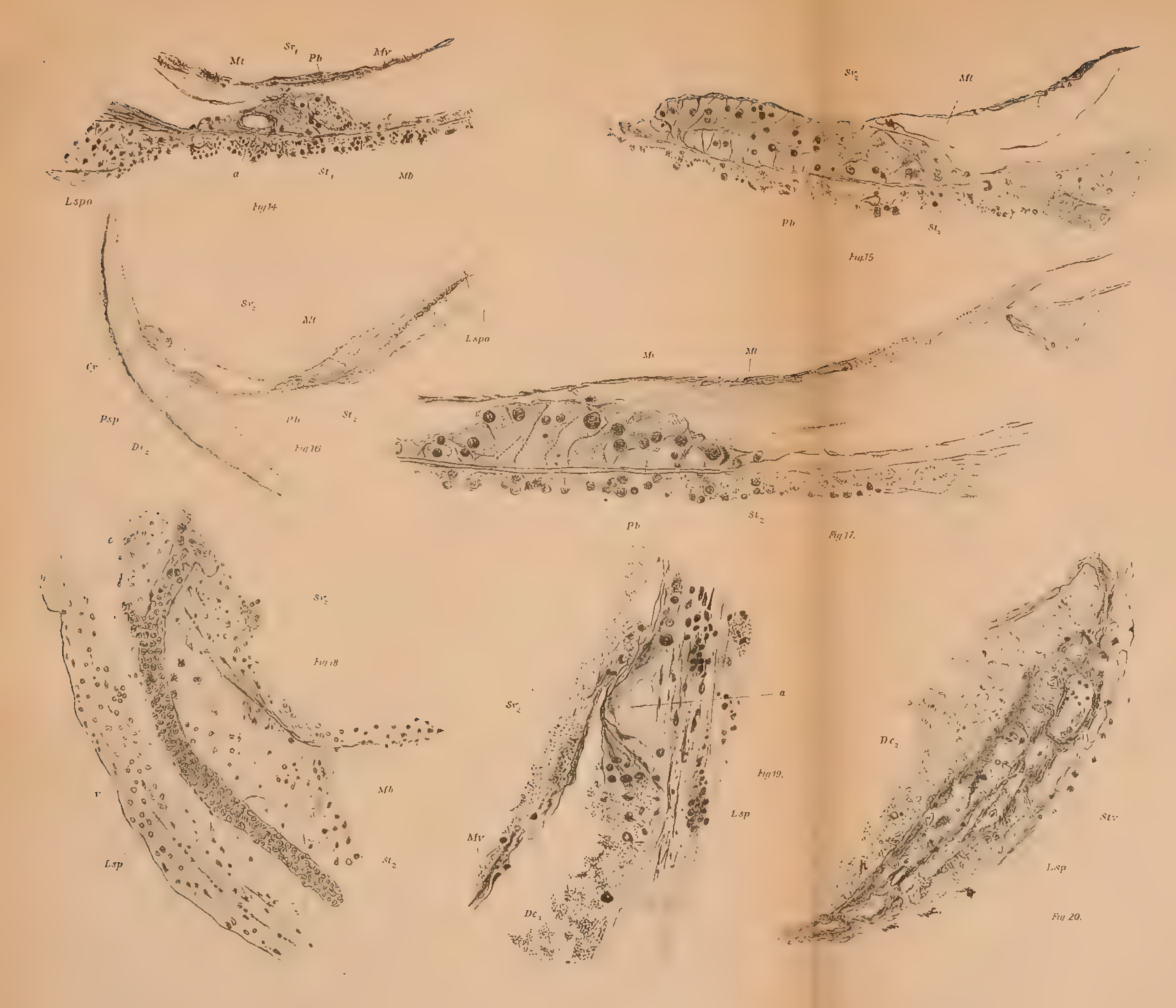






Fusser del.




Fig 14.
Fig 15.
Fig 16.
Fig 17.
Fig 18.
Fig 19.
Fig 20.



Alexander, G.: Hereditär degenerative Taubhe

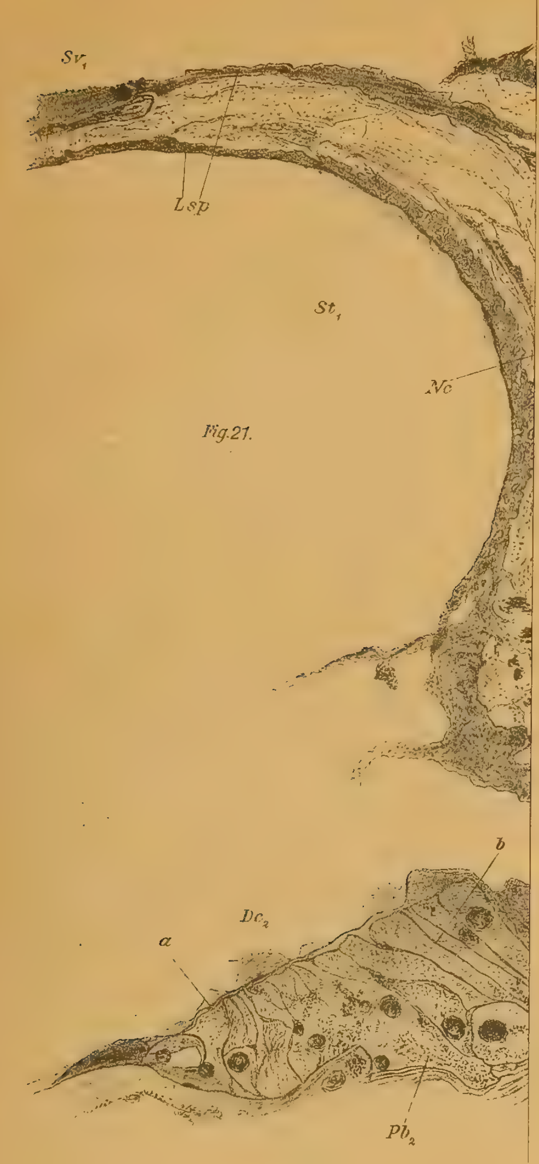


Fig. 21.

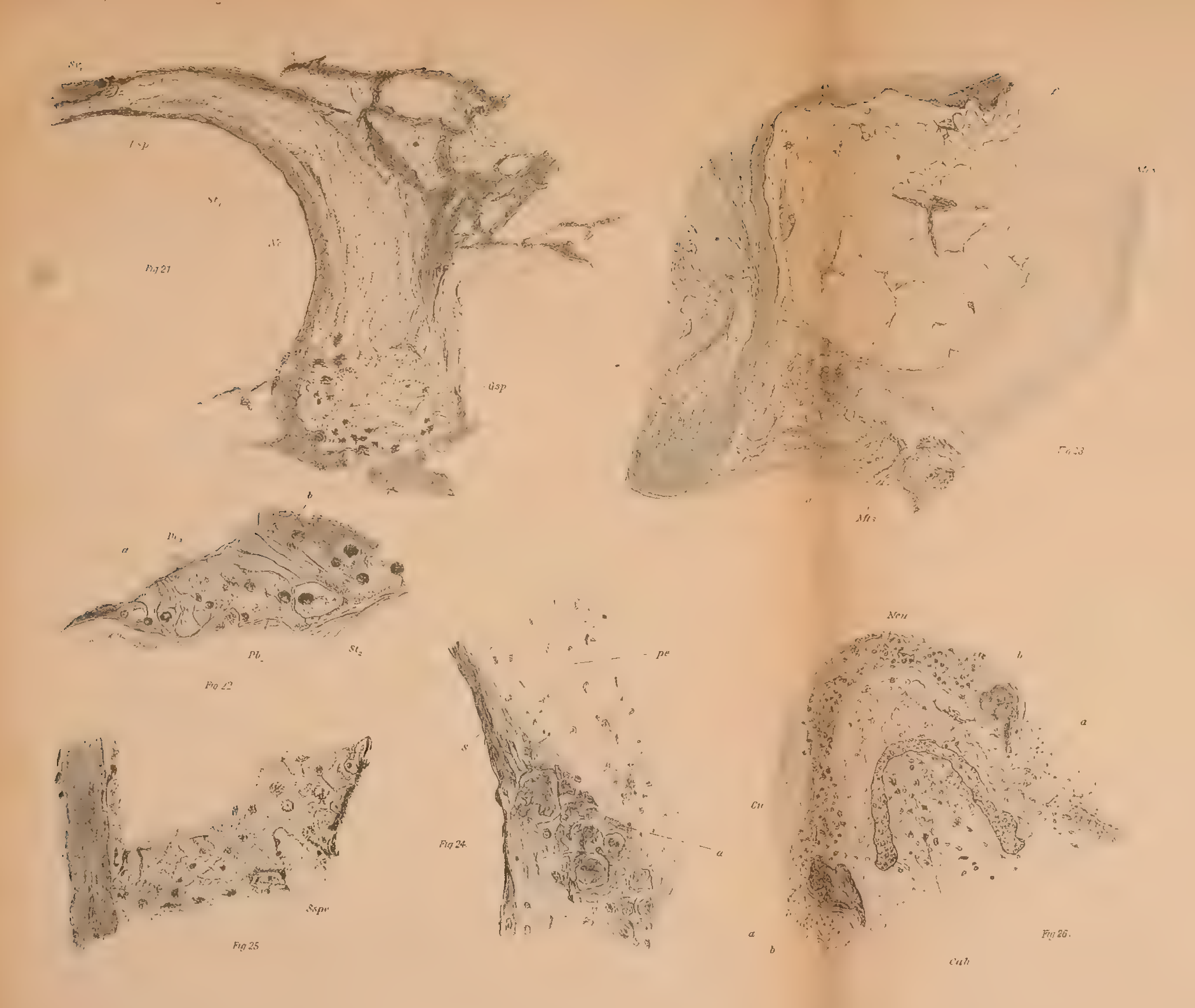
Fig. 22.



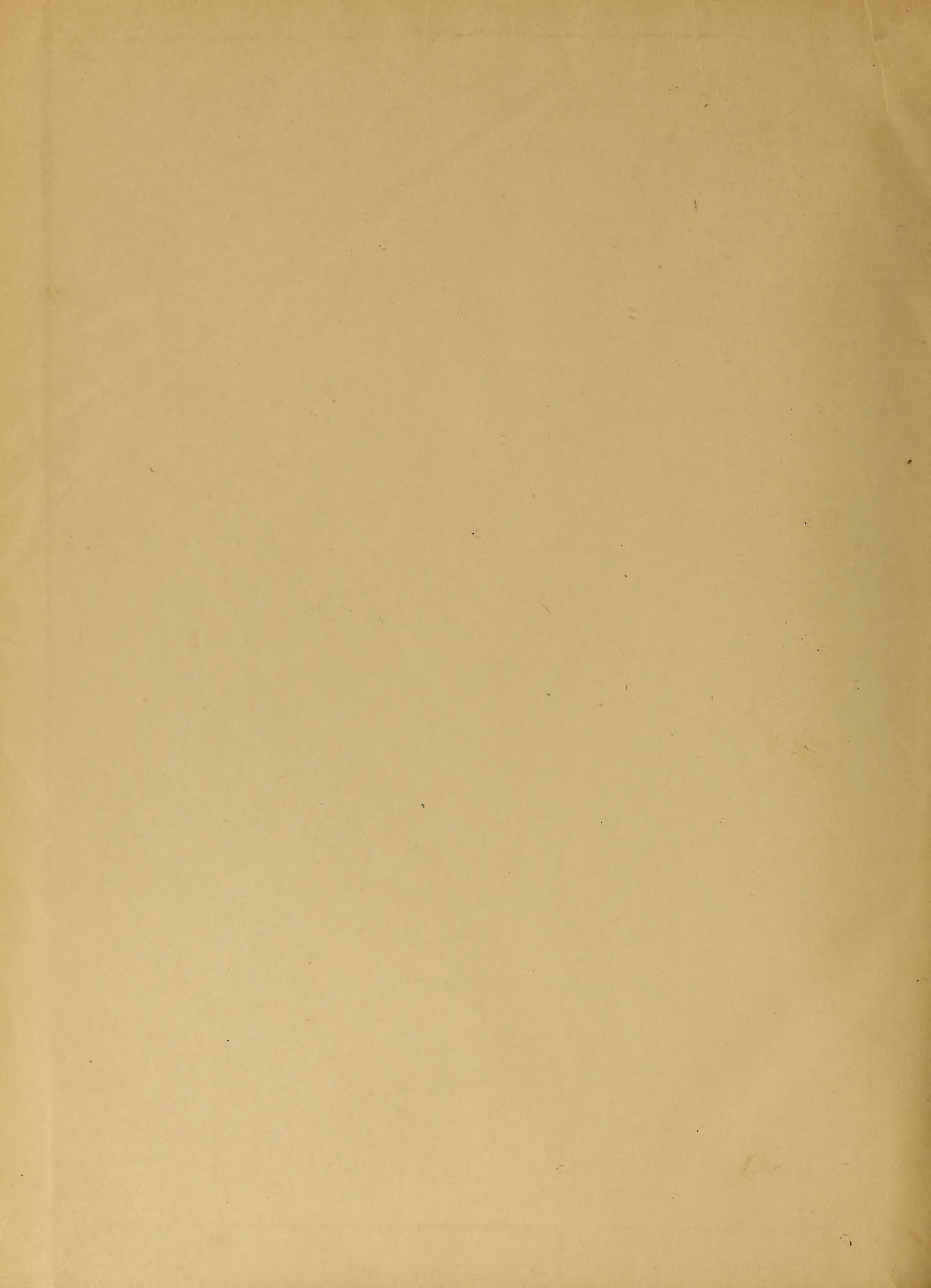
Fig. 25.

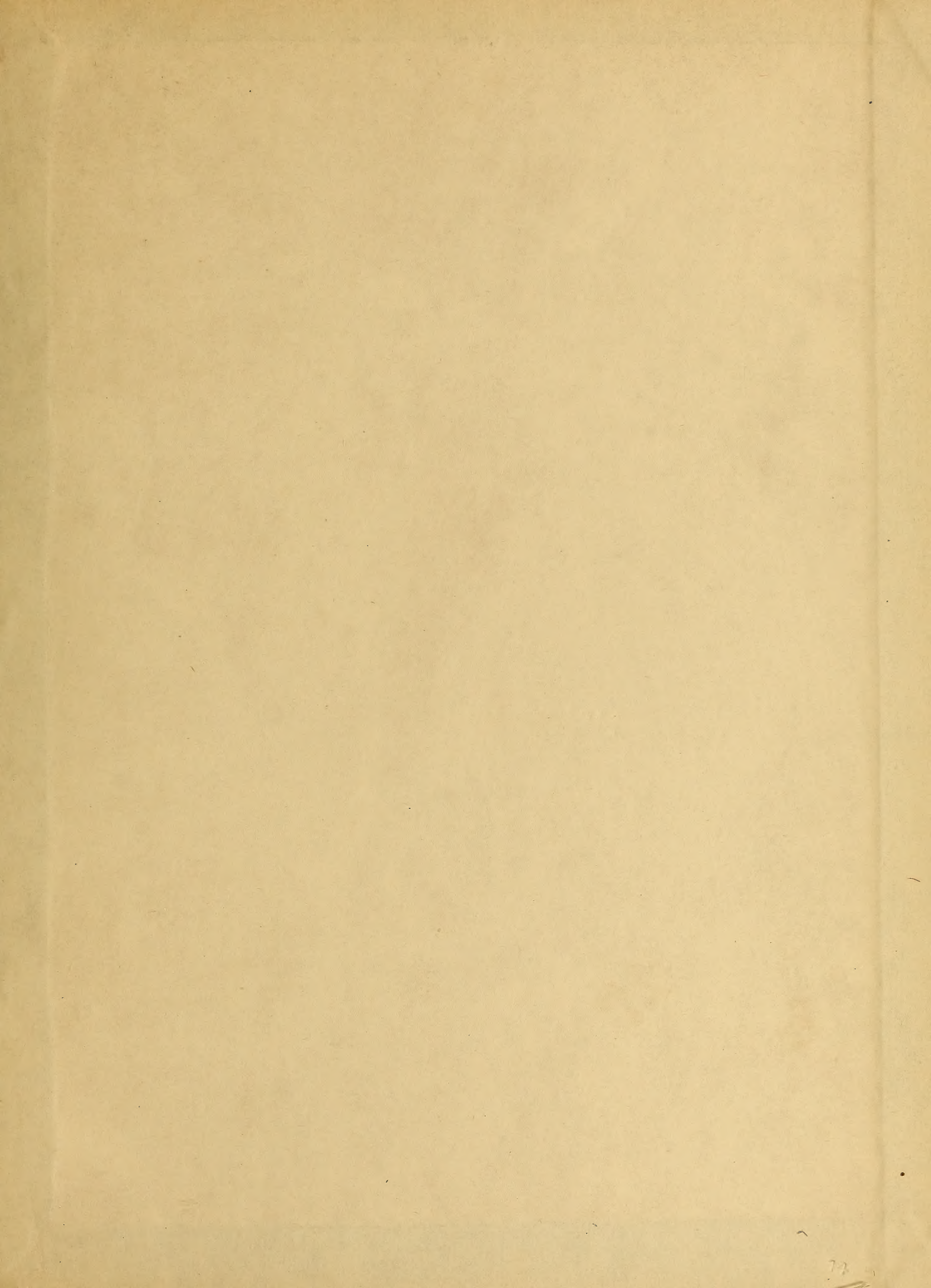
Fussor del.












SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01354 9555